

PROYEK AKHIR TERAPAN - RC 146599

# KINERJA STRUKTUR DERMAGA CURAH KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE, ACEH TERHADAP BEBAN GEMPA

Yudnina Nikmatul Hanifah  
NRP 3113 041 008

Dosen Pembimbing  
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D  
NIP 19620328 198803 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC 146599**

**KINERJA STRUKTUR DERMAGA CURAH  
KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000  
DWT DI PIDIE, ACEH TERHADAP BEBAN  
GEMPA**

**Yudnina Nikmatul Hanifah  
NRP 3113 041 008**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D  
NIP 19620328 198803 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**APPLIED FINAL PROJECT - RC 146599**

**SEISMIC PERFORMANCE OF A PILE-SUPPORTED PIER DESIGNED FOR 40.000 DWT BULK CARRIER SHIP LOCATED IN PIDIE, ACEH**

**Yudnina Nikmatul Hanifah  
NRP 3113 041 008**

**Supervisor  
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D  
NIP 19620328 198803 1 001**

**DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING  
INFRASTRUCTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
VOCATIONAL FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### KINERJA STRUKTUR DERMAGA CURAH KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE, ACEH TERHADAP BEBAN GEMPA

#### Proyek Akhir

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan  
Pada  
Program Studi Diploma Empat Teknik Sipil  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**YUDNINA NIKMATUL HANIFAH**

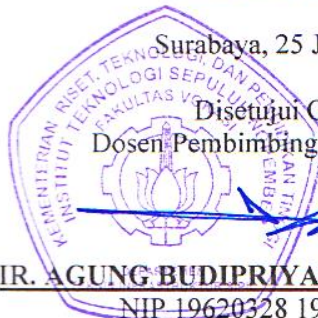
NRP. 3113 041 008

Surabaya, 25 Juli 2017

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing Proyek Akhir

26 JUL 2017



**IR. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.ENG, PH.D**

NIP.19620328 198803 1 001



## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **KINERJA STRUKTUR DERMAGA CURAH KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE, ACEH TERHADAP BEBAN GEMPA**

#### **Proyek Akhir**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan  
Pada  
Program Studi Diploma Empat Teknik Sipil  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**YUDNINA NIKMATUL HANIFAH**

NRP. 3113 041 008


Surabaya, 28 Juli 2017

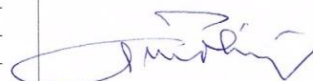
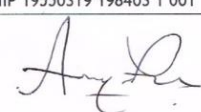

Disetujui Oleh :  
Dosen Pembimbing Proyek Akhir

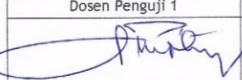
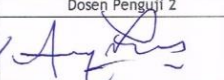
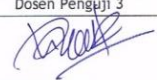
**IR. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.ENG, PH.D**


NIP 19620328 198803 1 001

	<b>BERITA ACARA</b> <b>TUGAS AKHIR TERAPAN</b> PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS VOKASI ITS	No. Agenda : 037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017
		Tanggal : 7/18/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	KINERJA STRUKTUR DERMAHA CULAH KERING <del>Evaluasi Kinerja Dermaga Tipe Perantara Terhadap Beban Gempa</del> UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE ACEH THD BEBAN GEMPA		
Nama Mahasiswa	Yudhina Nikmatul Hanifah	NRP	3113041008
Dosen Pembimbing 1	Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KEBERUKAN SPRING → GAMBAR DIREVISI</li> <li>• RIPA / TANGKAI TERLANTAI → SENDI</li> </ul>	 Ir. Chomaedhi, CES.Geo. NIP 19550319 198403 1 001
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HASIL DARI SAP PERLU DICAPTURE / DITAMPILKAN</li> <li>• TAPAK / STEP DITAMBAH DITAMPAH</li> <li>• KUNYA DERMAN - LEVEL</li> <li>• JARAK SPRING RENTAN KE SEBELAH</li> </ul>	 R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOKASI SENDI PLASTIS TITUS TERLANTAI THD SEA BED → GAMBAR DIREVISI</li> <li>• PEMBAHILAN DITAMBAH</li> <li>• KUNYA KAPASITAS → DIBAHAS</li> <li>• GEMPA 1000 TAHUN VS - 250 TAHUN</li> </ul>	 Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001
<ul style="list-style-type: none"> <li>• JUDUL BERUBAH - DIPERBAIKI</li> </ul>	
KINERJA STRUKTUR DERMAHA CULAH KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE, ACEH, TERHADAP BEBAN GEMPA	
	NIP -

Persetujuan Hasil Revisi			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
			
Ir. Chomaedhi, CES.Geo. NIP 19550319 198403 1 001	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001	- NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D. NIP 19620328 198803 1 001	- NIP -



# KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

## ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Yudnina Nikmatul Hanifah 2 313091008

NRP

: 1 2

Judul Tugas Akhir

: Evaluasi Kinerja Dermaga Tipe Terbuka di Pidie, Aceh ~~terhadap beban gempa~~  
Struktur Kinetika Struktur Dermaga Cuan Kering untuk Kapasitas Kapal 40.000 DWT di Pidie, Aceh terhadap Beban Gempa

Dosen Pembimbing

: Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, PhD

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	23 Februari 2017	- Revisi prosedur pengerjaan				
		- Mulai pemodelan struktur	f			
		- Cari referensi penunjang		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2 Maret 2017	- Dalam PIANC				
		- Mulai Input Beban				
		- Pemodelan beban crane berupa gaya reaksi pada dermaga saat crane ditetapi	f	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	9 Maret 2017	- Ubah referensi utama → ASCE 61-14	f			
		- Pembekanan diubah dan merencanakan ASCE 7-05 dan AASHTO LRFD untuk vehicle load		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	16 Maret 2017	- Mulai Input sendi plastis	f			
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	23 Maret 2017	- Input momen tumpuan berdasarkan variasi axial load	f			
		- Sendi plastis dimodelkan ditengah juga		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

= Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Yachina Nikmatul Hanifah

2 3113041008

NRP

: 1

2

Judul Tugas Akhir

: Evaluasi Kinerja Demaga Tipe Tertekuk di Pidie Aceh *Had Boban Gempa Struktur*  
Kinetika Struktur Demaga Curah Kering untuk Kapasitas Kanal 40.000 DWT di Pidie Aceh terhadap beban Gempa

Dosen Pembimbing

: Ir. Agung Budipriyanto, Merg, PhD

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6	30 Maret 2017	- Input pakuang sendi plastic 1/2x15 - Plastic Deformation 10% & kondisi nilai plastic deformation Minimal Damage R&C Damage, Life Safety Protection	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	6 April 2017	- Mulai input spring sesuai API - Mulai run pushover analysis	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	13 April 2017	- Pushover Curve not converge, cek: Seismic mass, spring, sendi plastis	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	4 Mei 2017	- Pushover curve minimal menunjukkan sampai sendi plastis pertama collapse - Dipakai spring p-y saja, t-z & q-z disederhanakan menjadi perletakan sendi	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	18 Mei 2017	- Pushover analysis bondingkan p-y upper bound & lower bound - Mulai Demand Analysis	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	25 Mei 2017	- Demand Analysis bondingkan gempa RSNI-ASCE	<i>[Signature]</i>	B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

# **KINERJA STRUKTUR DERMAGA CURAH KERING UNTUK KAPASITAS KAPAL 40.000 DWT DI PIDIE, ACEH TERHADAP BEBAN GEMPA**

**Student Name** : Yudnina Nikmatul Hanifah  
**NRP** : 3113 041 008  
**Supervisor** : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D

## **ABSTRAK**

*Perencanaan berbasis gaya atau force-based design yang digunakan pada perencanaan struktur terhadap beban gempa di Indonesia didasarkan pada analisis struktur elastis. Kenyataannya, perilaku keruntuhan struktur pada saat terjadi gempa adalah inelastis sehingga force-based design tidak mampu menggambarkan perilaku riil keruntuhan struktur. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan metode displacement-based design yang menggambarkan perilaku inelastis struktur menjadi penting untuk memastikan bahwa pada saat terjadi gempa, kinerja struktur adalah memuaskan. ASCE 61-14 juga menyatakan bahwa berbeda dengan force-based design, displacement-based design dapat digunakan untuk semua klasifikasi desain dermaga. Pada Tugas Akhir ini, ASCE 61-14 digunakan sebagai pedoman dalam analisis kinerja struktur. Analisis Nonlinear Static Pushover dilakukan untuk mengetahui kapasitas struktur hingga batas keruntuhannya, sedangkan untuk mengetahui kinerja struktur dermaga terhadap beban gempa dilakukan analisis nonlinier static demand berdasarkan FEMA 440 Equivalent Linearization. Evaluasi kinerja struktur dilakukan terhadap dermaga curah kering untuk kapal dengan kapasitas 40.000 DWT yang berlokasi di Pidie, Aceh. Dermaga ini merupakan dermaga tipe pier dengan dek beton dan tiang pancang baja. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa terhadap beban gempa periode ulang 950 tahun dan 2475 tahun yang spektrumnya dihitung berdasarkan ASCE 7-05, level kinerja*

*struktur adalah Minimal Damage serta diketahui juga bahwa tidak terjadi keruntuhan pada struktur. Terhadap gempa 950 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X, level kinerja struktur adalah Minimal Damage serta keruntuhan yang terjadi adalah kelelahan tiang tertanam dan ujung tiang. Sedangkan terhadap gempa 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X level kinerja struktur adalah Controlled and Repairable Damage dengan kelelahan tiang tertanam dan ujung tiang. Hasil kinerja ini memenuhi level kinerja minimum struktur yang disyaratkan oleh ASCE 61-14.*

***Kata kunci: Seismic Performance, Performance Level, Displacement-based Design, Nonlinear Spring, Pushover***

# **SEISMIC PERFORMANCE OF A PILE-SUPPORTED PIER DESIGNED FOR 40.000 DWT BULK CARRIER SHIP LOCATED IN PIDIE, ACEH**

**Nama Mahasiswa : Yudnina Nikmatul Hanifah**  
**NRP : 3113 041 008**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D**

## **ABSTRACT**

*The force-based design method used on seismic design in Indonesia is based on elastic analysis. In fact, collapse behavior of the structure in the event of an earthquake is inelastic. For this reason, the force-based design is unable to give the real picture of structural collapse. Consequentlyl performance assement of the structure using displacement-based design method which captures inelastic behavior of the structure become important to ensure that during earthquake the performance of the structure is acceptable. It is also stated in ASCE 61-14, different from force-based design, displacement-based design is permitted for all design classification of the pier. This Final Project is determined to follow ASCE 61-14. Nonlinear Static Pushover analysis was performed to obtain the capacity of the structure up to its collapse limit, whereas to achived the performance level of the structure under seismic loading, Nonlinear Static Demand analysis is carried out based on FEMA 440 Equivalent Linearization. The object of this seismic performance assement a pier with concrete deck and steel piles which located in Pidie, Aceh that serves loading and unloading of a 40.000 DWT bulk carrier ship. The results of this study indicate that under the 950 and 2475 year-return period of ground motion, which spectrum calculated based on ASCE 7-05, the performance level of the structure is Minimal Damage. It is also knows that there is no structural yield. Under the 950 year-return period of ground motion, which spectrum calculated based on RSNI 2833-201X , the performance level of*

*the stucture is Minimal Damage and the structure experiencies structural yield at in-ground and at the top of piles. While under the 2475 year-return period of ground motion which spectrum calculated based on RSNI 2833-201X , the performance level of the stucture is Controlled and Repairable Damage with structural yield at in-ground and at the top of piles. This result meets the minimum performance level required for the pier structure as stated on ASCE 61-14.*

***Keywords: Seismic Performance, Performance Level, Displacement-based Design, Nonlinear Spring, Pushover***



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Kinerja Struktur Dermaga Curah Kering Untuk Kapasitas Kapal 40.000 DWT Di Pidie, Aceh Terhadap Beban Gempa”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program Sarjana Terapan di Program Studi Sarjana Terapan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah turut menyumbangkan saran, kritik, dukungan baik secara materil maupun spritual, terutama kepada :

1. Keluarga besar yaitu Bapak, Ibu, Dik Ayun, Kak Iid dan Dik Anis yang terus memberikan doa dan motivasi selama penulis menjalani studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Bapak Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bimbingan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan
3. Bapak Ir. Ibnu Pudji M.S. yang telah memberikan banyak masukan dan arahan terkait dengan Tugas Akhir serta Mas Ainul dan Mas Adam yang juga turut memberikan bantuan.
4. Dosen penguji Tugas Akhir yakni Bapak Afif Navir Refani, ST., MT., Bapak R. Buyung Anugraha A., ST., MT dan Bapak Ir. Chomaedhi, CES. Geo
5. Abda, Asma', Mitha, Rosyid, Atun, Widi, Saul, Adel dan Aping serta teman-teman Chiviseven dan seluruh teman-teman Diploma Sipil angkatan 2013 yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan berbagai macam dukungan

Tentunya Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran. Akhir kata,

penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, 25 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	I
ABSTRACT	III
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR TABEL	X
DAFTAR GAMBAR	XIII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN TEORI	5
2.1 Umum.....	5
2.2 <i>Displacement-based Design</i> .....	5
2.2.1 Karakteristik Penampang	5
2.2.2 Karakteristik Material Inelastis	6
2.2.3 Momen Kurvatur	7
2.2.4 Sendi Plastis	9
2.2.5 Efek Seismik P-Delta	12
2.3 Level Kinerja.....	13
2.4 Batas Regangan .....	14
2.5 Analisis Kapasitas .....	16
2.6 Analisis Demand .....	18
2.7 Pembebanan Struktur .....	21
2.7.1 Beban Mati	21
2.7.2 Beban Hidup	21
2.7.3 Beban Gempa	22
2.8 Pemodelan Struktur .....	26
2.8.1 <i>Assembled Joint Masses</i>	26

2.8.2	<i>Body Constrain</i>	27
2.8.3	<i>Multilinear Plastic Link</i>	27
2.9	Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur .....	27
2.9.1	Spring Q-Z	27
2.9.2	Spring T-Z	28
2.9.3	Spring P-Y	29
2.9.4	Daya dukung tanah	31
2.9.5	Korelasi Sifat-Sifat Tanah	32
2.11	Tipe Sambungan.....	33
BAB III METODOLOGI		37
3.1	Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir.....	37
3.2	Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir .....	38
3.2.1	Pengumpulan Data	38
3.2.2	Studi Literatur	42
3.2.3	Pemodelan Struktur dan Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur	42
3.2.4	Pembebanan Struktur	42
3.2.5	Analisis Kapasitas	42
3.2.6	Analisis Demand	43
3.2.7	Kontrol Level Kinerja Minimum	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Pemodelan Struktur .....	45
4.1.1	Material	45
4.1.2	Elemen Struktur	45
4.1.3	Elemen Rigid	46
4.1.4	Pemodelan Struktur Tiga Dimensi	46
4.2	Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur .....	47
4.2.1	Spring Q-Z	48
4.2.2	Spring T-Z	51
4.2.3	Spring P-Y	53
4.3	Pembebanan Struktur .....	56
4.3.1	Beban Mati dan Beban Mati Tambahan	56
4.3.2	Beban Hidup	58
4.3.3	Beban Gempa	58

4.3.4 Massa Seismik	65
4.4 Analisis Kapasitas dengan <i>Nonlinear Static Pushover</i>	
<i>Analysis</i> .....	65
4.4.1 Batas Regangan	65
4.4.2 Momen Kurvatur	66
4.4.3 Sendi Plastis	69
4.4.4 Analisis <i>Nonlinear Static Pushover</i>	72
4.5 Analisis Demand dengan <i>Nonlinear Static Demand</i> .....	75
4.5.1 Level Kinerja Struktur	78
4.5.4 Pola Keruntuhan	83
4.5.5 Kontrol Level Kinerja Minimum	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1. Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	93

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang Sendi Plastis Ujung Atas Tiang .....	11
Tabel 2. 2 Tingkat Kinerja .....	13
Tabel 2. 3 Batas Regangan untuk <i>Minimal Damage</i> .....	15
Tabel 2. 4 Batas Regangan untuk <i>Controlled and Repairable Damage</i> .....	15
Tabel 2. 5 Batas Regangan untuk <i>Life Safety Protection</i> .....	16
Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs.....	24
Tabel 2. 7 Koefisien Situs $F_a$ .....	24
Tabel 2. 8 Koefisien Situs $F_v$ .....	25
Tabel 2. 9 Parameter Desain Tanah <i>Cohessionless</i> .....	32
Tabel 2. 10 Sambungan Tiang terhadap Pile Cap .....	34
 Tabel 3. 1 Data Tanah .....	 39
 Tabel 4. 1 Dimensi Elemen Struktur .....	 46
Tabel 4. 2 Nilai Sudut Geser dan Berat Jenis.....	48
Tabel 4. 3 Hubungan Gaya dan Deformasi Q-Z Tiang Pancang D800mm.....	50
Tabel 4. 4 Hubungan Gaya dan Deformasi Q-Z Tiang Pancang D800mm.....	50
Tabel 4. 5 Hubungan Gaya dan Deformasi T-Z.....	52
Tabel 4. 6 Nilai Koefisien dalam Perhitungan Spring P-Y .....	54
Tabel 4. 7 Nilai Daya Dukung Lateral Ultimate .....	54
Tabel 4. 8 Perhitungan Rerata NSPT .....	60
Tabel 4. 9 Nilai $S_s$ dan $S_1$ .....	61
Tabel 4. 10 Nilai $F_a$ dan $F_v$ .....	61
Tabel 4. 11 Nilai $SM_s$ dan $SM_1$ .....	61
Tabel 4. 12 Nilai $SD_s$ dan $SD_1$ .....	62

Tabel 4. 13 Nilai $T_0$ dan $T_s$ .....	62
Tabel 4. 14 Hubungan Periode dan Percepatan Spektra Gempa 950 Tahun.....	63
Tabel 4. 15 Hubungan Periode dan Percepatan Spektra Gempa 2475 Tahun.....	64
Tabel 4. 16 Nilai Batas Regangan .....	66
Tabel 4. 17 Nilai Momen Kurvatur Tiang Tertanam Dalam Tanah D800mm.....	67
Tabel 4. 18 Nilai Momen Kurvatur Tiang Tertanam Dalam Tanah D1000mm.....	68
Tabel 4. 19 Nilai Momen Kurvatur Ujung Tiang Atas D800mm	68
Tabel 4. 20 Nilai Momen Kurvatur Ujung Tiang Atas D1000mm .....	68
Tabel 4. 21 <i>Displacement capacity</i> dengan Spring <i>upper-bound</i> dalam meter .....	75
Tabel 4. 22 <i>Displacement capacity</i> dengan Spring <i>lower-bound</i> dalam meter .....	75
Tabel 4. 23 <i>Base Shear</i> dan <i>Displacement Demand</i> dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	77
Tabel 4. 24 <i>Base Shear</i> dan <i>Displacement Demand</i> dengan Spring <i>Lower-bound</i> .....	77
Tabel 4. 25 Level Kinerja Struktur Dermaga Terhadap Beban Gempa Arah Longitudinal dan Transversal .....	81
Tabel 4. 26 Level Kinerja Struktur Dermaga .....	81
Tabel 4. 27 Regangan Terjadi dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	83
Tabel 4. 28 Regangan Terjadi dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	83



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Dermaga.....	2
Gambar 2. 1 Kurva Tegangan-Regangan Beton.....	7
Gambar 2. 2 Kurva Momen Kurvatur dan Idealisasinya untuk Metode A.....	8
Gambar 2. 3 Kurva Kurvatur dan Idealisasinya untuk Metode B .	9
Gambar 2. 4 Kurva Momen Kurvatur yang Disederhanakan.....	12
Gambar 2. 5 Foto Kerusakan yang Terjadi pada Tiap Level Kinerja.....	14
Gambar 2. 6 Kekakuan Efektif dari Analisis Pushover.....	16
Gambar 2. 7 Performance Point pada CSM .....	18
Gambar 2. 8 Kurva ADRS dengan Periode dan Damping Efektif .....	20
Gambar 2. 9 Beban <i>Tandem</i> .....	22
Gambar 2. 10 Kurva Respons Spektrum .....	26
Gambar 2. 11 Kurva Q-Z .....	28
Gambar 2. 12 Kurva T-Z.....	29
Gambar 2. 13 Koefisien Sebagai Fungsi $\phi'$ .....	30
Gambar 2. 14 Initial Modulus dari Reaksi Tanah .....	31
Gambar 2. 15 Kurva Hubungan NSPT dan Sudut Geser Tanah .	33
Gambar 2. 16 Kurva Hubungan NSPT dan Berat Jenis Tanah ...	33
Gambar 2. 17 Macam-Macam Tipe Sambungan pada Tiang Baja .....	35
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir .....	37
Gambar 3. 2 Layout Dermaga .....	39
Gambar 3. 3 Denah Struktur Dermaga .....	40
Gambar 3. 4 Potongan Melintang Struktur Dermaga .....	41

Gambar 3. 5 Potongan Memanjang Struktur Dermaga .....	41
Gambar 4. 1 Pemodelan 3D Struktur Dermaga.....	47
Gambar 4. 2 Nilai Kurva Q-Z .....	51
Gambar 4. 3 Nilai Kurva T-Z.....	53
Gambar 4. 4 Nilai Kurva P-Y untuk Tiang D800mm .....	55
Gambar 4. 5 Nilai Kurva P-Y untuk Tiang D1000mm .....	56
Gambar 4. 6 Beban <i>Static Crane</i> (dalam satuan ton) .....	57
Gambar 4. 7 Letak Beban <i>Static Crane</i> .....	57
Gambar 4. 8 Beban <i>Loading Crane</i> (dalam satuan ton) .....	58
Gambar 4. 9 Letak Beban <i>Loading Crane</i> .....	58
Gambar 4. 10 Kurva Respons Spektrum .....	65
Gambar 4. 11 Tipikal <i>Cross Section</i> Tiang Pancang.....	67
Gambar 4. 12 Letak Sendi Plastis Ujung Atas Tiang .....	69
Gambar 4. 13 Letak Sendi Plastis Tertanam Dalam Tanah <i>upper-bound</i> Spring .....	70
Gambar 4. 14 Letak Sendi Plastis Tertanam Dalam Tanah <i>lower-bound</i> Spring .....	70
Gambar 4. 15 Panjang dan Rotasi Sendi Plastis.....	71
Gambar 4. 16 <i>Mode 1</i> .....	72
Gambar 4. 17 <i>Mode 2</i> .....	72
Gambar 4. 18 Contoh Output Kurva Kapasitas SAP2000 untuk Arah Beban Longitudinal dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	73
Gambar 4. 19 Kurva Kapasitas dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	74
Gambar 4. 20 Kurva Kapasitas dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	74
Gambar 4. 21 Contoh Output Analisis Demand berdasarkan FEMA 440 Equivalent Linearization Output SAP2000 untuk Arah Beban Longitudinal dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	76
Gambar 4. 22 Level Kinerja Arah Longitudinal dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	78

Gambar 4. 23 Level Kinerja Arah Transversal dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	79
Gambar 4. 24 Level Kinerja Arah Longitudinal dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	79
Gambar 4. 25 Level Kinerja Arah Transversal dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	80
Gambar 4. 26 Contoh Output Rotasi Plastis SAP2000 untuk Arah Beban Transversal dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	82
Gambar 4. 27 Leleh Pertama Tiang Tertanam dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	84
Gambar 4. 28 Leleh Pertama Ujung Tiang dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	84
Gambar 4. 29 <i>Collapse</i> dengan Spring <i>lower-bound</i> .....	84
Gambar 4. 30 Leleh Pertama Tiang Tertanam dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	84
Gambar 4. 31 Leleh Pertama Ujung Tiang dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	85
Gambar 4. 32 <i>Collapse</i> dengan Spring <i>upper-bound</i> .....	85
Gambar 4. 33 Keruntuhan dengan Spring <i>upper-bound</i> terhadap gempa 950 (ASCE) .....	85
Gambar 4. 34 Keruntuhan dengan Spring <i>lower-bound</i> di bawah gempa 2475 (RSNI).....	85
Gambar 4. 35 Keruntuhan dengan Spring <i>upper-bound</i> terhadap gempa 2475 (ASCE) .....	86
Gambar 4. 36 Keruntuhan dengan Spring <i>lower-bound</i> di bawah gempa 2475 (ASCE) .....	86
Gambar 4. 37 Keruntuhan dengan Spring <i>upper-bound</i> terhadap gempa 950 (RSNI) .....	86
Gambar 4. 38 Keruntuhan dengan Spring <i>lower-bound</i> di bawah gempa 950 (RSNI) .....	86

Gambar 4. 39 Keruntuhan dengan Spring <i>upper-bound</i> terhadap gempa 2475 (RSNI).....	87
Gambar 4. 40 Keruntuhan dengan Spring <i>lower-bound</i> di bawah gempa 2475 (RSNI).....	87

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, dengan luas lautan melebihi 5 juta km<sup>2</sup> dan garis pantai terpanjang ke empat di dunia yakni sepanjang 95.181 serta 17.480 pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Hal ini membuat peran transportasi laut menjadi penting.

Transportasi laut dibutuhkan untuk kepentingan ekonomi, pembangunan dan keamanan wilayah Indonesia. Untuk mendukung kepentingan-kepentingan tersebut diperlukan sarana dan prasarana yakni kapal dan pelabuhan. Dermaga menjadi salah satu fasilitas utama pada pelabuhan yang memiliki fungsi sebagai tempat berlabuhnya kapal.

Dermaga umumnya direncanakan dengan mempertimbangkan faktor kontur tanah, kekuatan tanah, kapal yang akan bersandar, dan juga beban-beban yang berkerja. Pada daerah dengan resiko gempa tinggi, beban dominan yang mempengaruhi struktur dermaga adalah beban gempa.

Gempa yang diikuti tsunami pada tahun 2006 lalu menunjukkan bahwa Aceh merupakan wilayah rawan gempa. Selain itu Indonesia secara keseluruhan juga termasuk negara dengan intensitas gempa tinggi. Hal ini disebabkan wilayah Indonesia dilewati *Ring of Fire* yang menyebabkan sebagian wilayah di Indonesia sering terjadi gempa. Berangkat dari hal ini, Indonesia menerbitkan pedoman perencanaan struktur terhadap gempa seperti SNI 1726-2012 untuk perencanaan gedung dan RSNI 2833-201X untuk perencanaan jembatan. Namun belum tersedia pedoman khusus yang mengatur perencanaan struktur dermaga terhadap beban gempa.

Dermaga di Pidie, Aceh (lihat Gambar 1. 1 untuk daerah Pidie tempat dermaga dibangun) yang menjadi objek Tugas Akhir ini didesain berdasarkan RSNI 2833-201X yang merupakan

pedoman perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Pada RSNI 2833-201X metode yang digunakan dalam perencanaan adalah *force-based design* yang merupakan perencanaan berbasis gaya. Dalam Tugas Akhir ini dermaga tersebut akan di evaluasi dengan metode *displacement-based design* berdasarkan pedoman ASCE 61-14 *Seismic Design for Wharves and Piers* yang merupakan pedoman perencanaan struktur dermaga terhadap beban gempa.

Perencanaan berbasis gaya atau *force-based design* yang digunakan pada perencanaan struktur terhadap beban gempa di Indonesia didasarkan pada analisis struktur elastis. Kenyataannya, perilaku keruntuhan struktur pada saat terjadi gempa adalah inelastis sehingga *force-based design* tidak mampu menggambarkan perilaku riil keruntuhan struktur. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan *displacement-based design* yang menggambarkan perilaku inelastis struktur menjadi penting untuk memastikan pada saat terjadi gempa, kinerja stuktur adalah memuaskan.



Gambar 1. 1 Lokasi Dermaga

Pada Tugas Akhir ini, berdasarkan yang tercantum pada ASCE 61-14, dilakukan analisis *Nonlinier Static Pushover* untuk mengetahui kapasitas struktur hingga batas keruntuhannya. Sedangkan untuk mengetahui kinerja struktur dermaga terhadap beban gempa dilakukan analisis *Nonlinear Static Demand* berdasarkan pedoman FEMA 440 *Equivalent Linearization*. Evaluasi kinerja struktur dilakukan terhadap dermaga curah kering untuk kapal dengan kapasitas 40.000 DWT yang berlokasi di Pidie, Aceh. Dermaga ini merupakan dermaga tipe pier dengan dek beton dan tiang pancang baja.

## **1.2 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana kapasitas struktur demaga terhadap beban gempa?
2. Bagaimana kinerja struktur dermaga terhadap beban gempa?
3. Bagaimana pola keruntuhan struktur dermaga terhadap beban gempa?

## **1.3 Tujuan**

1. Mengetahui kapasitas struktur dermaga terhadap beban gempa
2. Mengetahui kinerja struktur dermaga terhadap beban gempa
3. Mengetahui pola keruntuhan struktur dermaga terhadap beban gempa

## **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Peraturan yang digunakan untuk evaluasi adalah mengacu ASCE 61-14 *Seismic Design for Wharf and Pier*
2. Analisis kapasitas menggunakan *Nonlinear Static Pushover*
3. Analisis demand menggunakan *Nonlinear Static Demand* menurut FEMA 440 *Equivalent Linearization*

4. Faktor *liquefaction* dan *lateral spreading* pada tanah tidak ditinjau
5. Data struktur yang diperoleh adalah data sekunder

### **1.5 Manfaat**

1. Mengetahui kinerja struktur dermaga yang didesain dengan peraturan RSNI 2833-201X dengan evaluasi berdasarkan ASCE 61-14
2. Menambah pengetahuan mengenai kinerja struktur dermaga



## **BAB II**

### **TINJAUAN TEORI**

#### **2.1 Umum**

Perencanaan berbasis gaya atau *force-based design* yang digunakan pada perencanaan struktur terhadap beban gempa di Indonesia didasarkan pada analisis struktur elastis. Kenyataannya, perilaku keruntuhan struktur pada saat terjadi gempa adalah inelastis sehingga *force-based design* tidak mampu menggambarkan perilaku riil keruntuhan struktur. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan *displacement-based design* yang menggambarkan perilaku inelastis struktur menjadi penting untuk memastikan pada saat terjadi gempa, kinerja struktur adalah memuaskan.

#### **2.2 *Displacement-based Design***

Metoda displasemen didefinisikan sebagai suatu prosedur analisis yang didasarkan atas parameter deformasi elastik dan inelastik tertentu sebagai dasar analisis. Digunakannya parameter deformasi maksimum sebagai landasan pada *displacement-based design* dipandang sebagai sesuatu yang lebih rasional, relevean dan mengandung level akurasi yang lebih baik dalam pendesainan struktur tahan gempa dibanding metoda tradisional *force-based design*

##### **2.2.1 Karakteristik Penampang**

Penampang dimana terjadi sendi plastis harus dimodelkan dengan kekakuan lentur  $EI$ , dan kekakuan torsi  $GJ$ , yang mewakili retak pertama yang terjadi sesaat sebelum leleh. Momen inersia efektif  $I_{eff}$  dan  $E_{eff}$ , harus digunakan saat pemodelan struktur.  $I_{eff}$  diperkirakan dengan kemiringan slope momen kurvatur antara titik leleh *origin* dan titik leleh pertama.

$$I_{\text{crack}} = M_p / (C_p E) \quad (2.0)$$

dimana,

$M_p$  = momen plastis

$C_p$  = kurvatur plastis

$E$  = modulus elastisitas

### 2.2.2 Karakteristik Material Inelastis

Karakteristik material inelastis harus digunakan untuk analisis kapasitas dan analisis demand terhadap beban gempa. Kekuatan material yang diharapkan terhadap beban gempa ditentukan sebagai berikut.

$$f_{ce} = 1.4f_c \quad (2.1)$$

$$f_{ye} = 1.1f_y \quad (2.2)$$

$$f_{yhe} = 1.0f_{yh} \quad (2.3)$$

$$f_{ue} = 1.4f_{ye} \quad (2.4)$$

dimana,

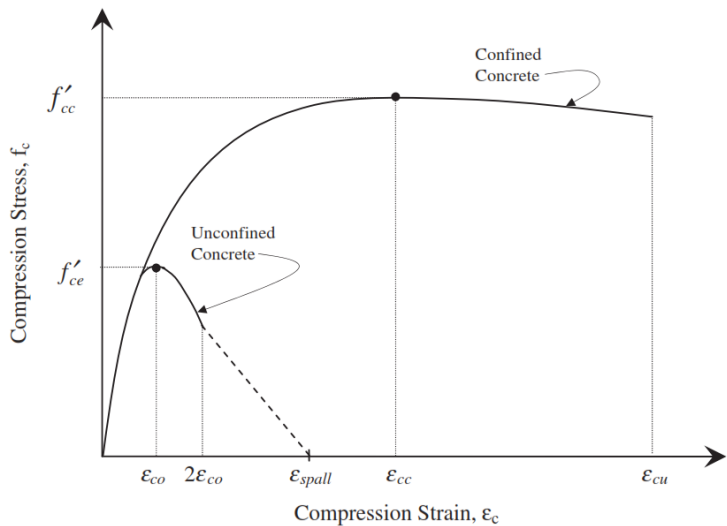
$f_c$  = kuat tekan beton 28 hari

$f_y$  = kuat leleh baja/strand

$f_{yh}$  = kuat leleh baja confining

$f_{ce}, f_{ye}, f_{yhe}, f_{pye}, f_{pu}$  = kekuatan material diharapkan

Beton didefinisikan sebagai beton tidak terkekang apabila beton tersebut tidak memiliki tulangan atau elemen lainnya yang berfungsi sebagai pengekang. Berikut ditunjukkan kurva tegangan-regangan beton.



Gambar 2. 1 Kurva Tegangan-Regangan Beton

dimana,

$\epsilon_{spall}$  = Regangan tekan ultimate beton tidak terkekang, diambil nilai 0.005

$\epsilon_{co}$  = Regangan tekan beton tidak terkekang saat tegangan maksimum, diambil nilai 0.002.

$\epsilon_{cu}$  = Regangan tekan ultimate beton terkekang, diambil nilai tidak lebih dari 0.025

$\epsilon_{cc}$  = Regangan tekan beton terkekang saat tegangan maksimum.

$f'_{ce}$  = Kuat tekan beton diharapkan

$f'_{cc}$  = Kuat tekan beton terkekang

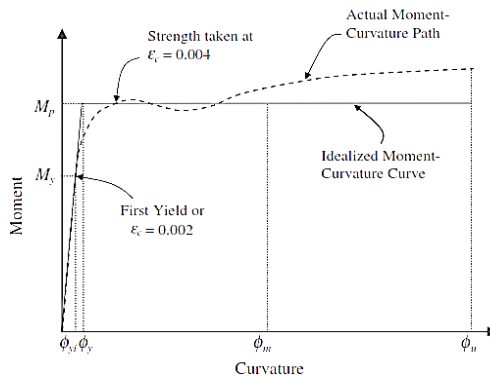
### 2.2.3 Momen Kurvatur

Momen kurvatur adalah parameter terpenting dalam menentukan kinerja struktur sebab kapasitas deformasi inelastik diukur berdasarkan daktilitas elemen. Analisis *cross section*

diperlukan untuk mendapatkan momen kurvatur. Gaya Aksial dan gaya prategang efektif harus dilibatkan dalam analisis ini. Momen kurvatur dari penampang elemen komposit dapat disederhanakan dengan menggunakan 2 metode berikut.

### 1. Metode A

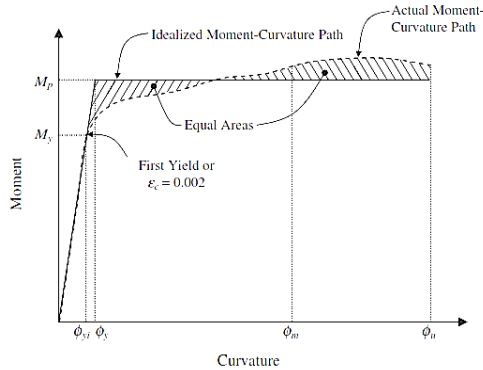
Metode A digunakan saat terjadi penurunan nilai kapasitas momen pada penampang yang disebabkan oleh runtuhnya selimut (*cover*).



Gambar 2. 2 Kurva Momen Kurvatur dan Idealisasinya untuk Metode A  
(Sumber: ASCE-61-14)

### 2. Metode B

Metode B digunakan saat tidak terjadi penurunan nilai kapasitas momen pada elemen.



Gambar 2. 3 Kurva Kurvature dan Idealisasinya untuk Metode B  
(Sumber: ASCE-61-14)

dimana,

$M_y$  = Momen saat leleh pertama

$M_p$  = Momen plastis

$\phi_{iy}$  = Kelengkungan saat leleh pertama

$\phi_y$  = Kelengkungan leleh yang disederhanakan

$\phi_m$  = Kelengkungan batas regangan pada level kinerja tertentu

$\phi_u$  = Kelengkungan ultimit penampang

Pemilihan metode A dan B salah satunya ditentukan oleh tipe sambungan tiang terhadap dek.

#### 2.2.4 Sendi Plastis

Tingkah laku struktur bila beban yang bekerja pada struktur tersebut bertambah secara linear, maka pada saat struktur diberi beban relatif kecil, besarnya momen-momen yang ada disetiap penampangnya masih terletak dalam daerah elastis atau belum melalui momen lelehnya. Kemudian apabila beban ditingkatkan hingga mengakibatkan besar momen pada salah satu penampangnya mencapai momen plastisnya, terbentuklah sendi plastis. Semakin besar beban yang diberikan pada struktur, semakin banyak sendi plastis pada struktur tersebut terbentuk.

Jumlah sendi plastis ini terus bertambah hingga jumlahnya cukup untuk menyebabkan struktur runtuh.

Berdasarkan ASCE 61-14 sendi plastis didefinisikan terbentuk pada sambungan ujung atas tiang dan pada tiang pancang tertanam dalam tanah dimana momen maksimum dalam tanah terjadi. Persamaan panjang dan rotasi sendi plastis diberikan pada poin-poin berikut ini.

1. Panjang Sendi Plastis Tertanam dalam tanah

Panjang sendi plastis yang terletak dibawah tanah ditentukan dengan persamaan berikut.

$$L_p = 2d \quad (2.5)$$

dimana,

d = diameter tiang

2. Panjang Sendi Plastis pada Ujung Atas Tiang

Panjang sendi plastis pada ujung atas tiang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Panjang Sendi Plastis Ujung Atas Tiang

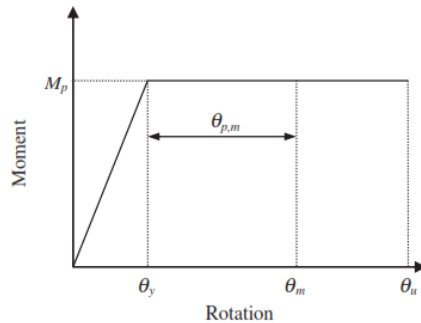
Connection type	
Steel pipe piles	$L_p$ at deck (In.)
Embedded pile	$0.5D$ (see Section 7.4.3.3)
Concrete plug	$0.30f_{yc}d_b$
Isolated shell	$0.30f_{yc}d_b + g$
Welded embed	$0.5D$ (See Section 7.4.2.4)
Welded dowels	NA
<b>Prestressed concrete piles</b>	
Pile buildup	$0.15f_{yc}d_b \leq L_p \leq 0.3f_{yc}d_b$
Extended strand	$0.2f_{ps}d_{st}$
Embedded pile	$0.5D$ (see Section 7.4.2.1)
Dowelled	$0.25f_{yc}d_b$
Hollow dowelled	$0.2f_{yc}d_b$
External confinement	$0.30f_{yc}d_b$
Isolated interface	$0.25f_{yc}d_b$
<b>Other connections</b>	
Pinned connection	NA
Batter pile	See Section 7.4.4.2

Note: Table uses English units. Metric equivalent is not provided.

Sumber: (ASCE 61-14)

### 3. Rotasi Sendi Plastis

Rotasi sendi plastis dihitung dari hasil analisis *cross section* dengan persamaan berikut ini.



Gambar 2. 4 Kurva Momen Kurvatur yang Disederhanakan  
(Sumber: ASCE 61-14)

$$\theta_{pm} = L_p \phi_{pm} = L_p (\phi_m - \phi_y) \quad (2.6)$$

dimana,

$L_p$  = panjang sendi plastis

$\theta_{pm}$  = selisih rotasi pada level kinerja tertentu dengan kurvatur saat leleh

$\phi_{pm}$  = selisih kurvatur pada level kinerja tertentu dengan kurvatur saat leleh

$\theta_m$  = rotasi pada level kinerja tertentu

$\theta_y$  = rotasi saat leleh =  $L_p \phi_y$

$\theta_u$  = rotasi ultimit

## 2.2.5 Efek Seismik P-Delta

Efek non-linier ini disebabkan oleh gaya-gaya aksial tekan dan momen lentur yang bekerja secara simultan pada struktur sehingga terjadi beban yang eksentris. Akibat lendutan yang terjadi pada struktur maka gaya aksial tekan yang bekerja memberikan momen tambahan. Tingkat ketidaklinieran tergantung pada besarnya beban aksial tekan dibandingkan dengan beban euler dan besar lendutan yang dihasilkan akibat beban lentur. Secara umum pengaruh ketidaklinieran akibat efek P-delta dapat dianggap kecil. Anggapan ini tetap digunakan untuk gelagar yang tipis atau menara yang mempunyai momen inersia



kecil dengan memberikan pembebanan yang ekstrim dan menguji kebenaran anggapan.

## 2.3 Level Kinerja

Tabel 2. 2 Tingkat Kinerja



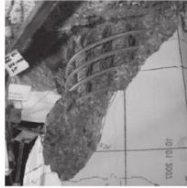
	<i>Operating Level Earthquake (OLE)</i>		<i>Contingency Level Earthquake (CLE)</i>		<i>Design Earthquake (DE)</i>	
	Return Period (year)	Performance Level	Return Period (year)	Performance Level	Seismic Hazard Level	Performance Level
High	72	Minimal Damage	475	Controlled and Repairable Damage	Per ASCE 7-05	Life Safety Protection
Moderate	N/A	N/A	224			
Low	N/A	N/A	N/A	N/A		

(Sumber: ASCE 61-14)

ASCE 61-14 menetapkan persyaratan minimum level kinerja untuk tiap level gempa. Level gempa *Operating Level Earthquake* (OLE) adalah gempa dengan periode ulang 72 tahun, *Contingency Level Earthquake* (CLE) adalah gempa dengan periode ulang 475 dan 224 tahun dan *Design Earthquake* (DE) adalah gempa dengan periode ulang melampaui 475. Berdasarkan level gempa ini level kinerja minimum struktur ditentukan sebagaimana yang tertera pada Tabel 2. 2 Tingkat Kinerja Struktur dengan desain beban gempa OLE level kinerja minimum nya adalah *Minimum Damage*. Jika struktur didesain terhadap beban gempa CLE, minimum level kinerjanya adalah *Controlled and Repairable damage*. Sedangkan untuk beban gempa DE level kinerja minimum struktur adalah *Life Safety Protection*. Berikut dijelaskan lebih lanjut mengenai masing-masing level kinerja.

1. *Life Safety Protection*, jika (a) setelah gempa, struktur mengalami kerusakan dimana masih dapat menopang beban gravitasi (b) Kerusakan yang terjadi tidak

- menghalangi jalan keluar (c) tidak kehilangan material yang akan menyebabkan bahaya
2. *Controlled and repairable damage*, jika (a) struktur berada pada batas deformasi inelastik pada lokasi yang dapat diperbaiki (b) perbaikan pada bagian rusak yang menghalangi pelayanan dapat selesai dalam hitungan bulan (c) tidak kehilangan material yang akan menyebabkan bahaya
  3. *Minimal Damage*, jika (a) kerusakan yang terjadi tidak besar atau tidak ada (b) pelayanan tidak terganggu (c) tidak kehilangan material yang akan menyebabkan bahaya

Minimal Damage OLE	Controlled and Repairable Damage CLE	Life Safety Protection DE
		
Initial cracking and spalling of the pile and/or deck	Substantial spalling of the pile and the deck in the vicinity of the pile thereby exposing reinforcement in the pile and the deck	Broken connection from either spalling into the core, fractured dowel bars or buckled strand.

Gambar 2. 5 Foto Kerusakan yang Terjadi pada Tiap Level Kinerja  
(Sumber: ASCE 61-14)

## 2.4 Batas Regangan

Berikut tabel-tabel yang menjelaskan batas regangan untuk setiap level kinerja. Beberapa sambungan pada ujung tiang mempengaruhi batas regangan, untuk tipe sambungan tiang tertentu batas tegangan tidak diambil berdasarkan tabel di bawah ini. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 2. 10.

Tabel 2. 3 Batas Regangan untuk *Minimal Damage*

Pile type	Component	Hinge location		
		Top of pile	In ground	Deep in ground ( $>10D_p$ )
Solid concrete pile	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.005$	$\epsilon_c \leq 0.005$	$\epsilon_c \leq 0.008$
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.015$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.015$	$\epsilon_p \leq 0.015$
Hollow concrete pile <sup>a</sup>	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.004$	$\epsilon_c \leq 0.004$	$\epsilon_c \leq 0.004$
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.015$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.015$	$\epsilon_p \leq 0.015$
Steel pipe pile	Steel pipe		$\epsilon_s \leq 0.010$	$\epsilon_s \leq 0.010$
	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.010$		
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.015$		

<sup>a</sup>If the interior of the hollow pile is filled with concrete, all strain limits shall be the same as for solid piles.

(Sumber: ASCE 61-14)

Tabel 2. 4 Batas Regangan untuk *Controlled and Repairable Damage*

Pile type	Component	Hinge location		
		Top of pile	In ground	Deep in ground ( $>10D_p$ )
Solid concrete pile	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.005 + 1.1\rho_s \leq 0.025$	$\epsilon_c \leq 0.005 + 1.1\rho_s \leq 0.008$	$\epsilon_c \leq 0.012$
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.6\epsilon_{smd} \leq 0.06$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.025$	$\epsilon_p \leq 0.025$
Hollow concrete pile <sup>a</sup>	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.006$	$\epsilon_c \leq 0.006$	$\epsilon_c \leq 0.006$
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.4\epsilon_{smd} \leq 0.04$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.020$	$\epsilon_p \leq 0.025$
Steel pipe pile	Steel pipe		$\epsilon_s \leq 0.025^b$	$\epsilon_s \leq 0.035$
	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.025$		
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.6\epsilon_{smd} \leq 0.06$		

<sup>a</sup>If the interior of the hollow pile is filled with concrete, all strain limits shall be the same as for solid piles.

<sup>b</sup>If the steel pipe pile is infilled with concrete, a value of 0.035 may be used.

(Sumber: ASCE 61-14)

Tabel 2. 5 Batas Regangan untuk *Life Safety Protection*

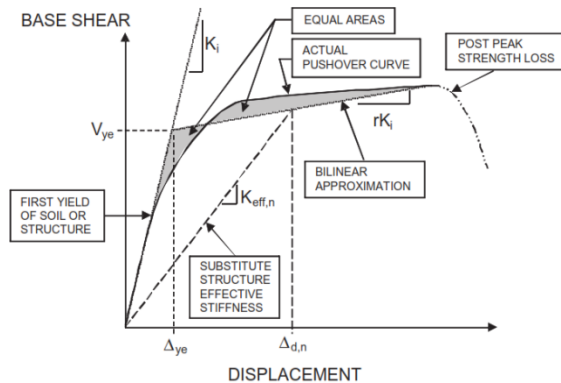
Pile type	Component	Hinge location		
		Top of pile	In ground	Deep in ground ( $>10D_p$ )
Solid concrete pile	Concrete	No limit	$\epsilon_c \leq 0.005 + 1.1\rho_s \leq 0.012$	No limit
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.8\epsilon_{smd} \leq 0.08$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.035$	$\epsilon_p \leq 0.050$
Hollow concrete pile <sup>a</sup>	Concrete	$\epsilon_c \leq 0.008$	$\epsilon_c \leq 0.008$	$\epsilon_c \leq 0.008$
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.6\epsilon_{smd} \leq 0.06$		
	Prestressing steel		$\epsilon_p \leq 0.025$	$\epsilon_p \leq 0.050$
Steel pipe pile	Steel pipe		$\epsilon_s \leq 0.035^b$	$\epsilon_s \leq 0.050$
	Concrete	No limit		
	Reinforcing steel	$\epsilon_s \leq 0.8\epsilon_{smd} \leq 0.08$		

<sup>a</sup>If the interior of the hollow pile is filled with concrete, all strain limits shall be the same as for solid piles.

<sup>b</sup>If the steel pipe pile is infilled with concrete, a value of 0.050 may be used.

(Sumber: ASCE 61-14)

## 2.5 Analisis Kapasitas



Gambar 2. 6 Kekakuan Efektif dari Analisis Pushover  
(Sumber: ASCE 61-14)

Analisis kapasitas dilakukan untuk mengetahui kapasitas struktur dalam menahan beban. Analisis ini dapat dilakukan secara statik dan dinamik. Analisis kapasitas secara statik yang populer digunakan saat ini adalah *Nonlinear Static Pushover*.

Menurut Pranata (2006), analisis pushover adalah suatu analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat masing – masing lantai. Analisis beban dorong dilakukan dalam dua tahap, Tahap pertama struktur diberi beban gravitasi (kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi). Analisis kedua dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap. Prosedur analisis *Nonlinear Static Pushover* menurut Wiranto Dewobroto dijelaskan sebagai berikut.

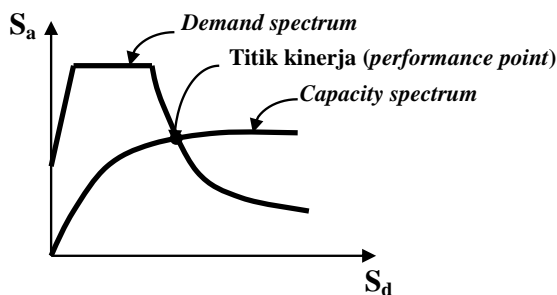
1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva pushover.
2. Membuat kurva pushover berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inerti, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan

maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

## 2.6 Analisis Demand

Salah satu varian metode statis nonlinier yang banyak diadopsi dan direkomendasikan oleh standar desain adalah Metode Spektrum Kapasitas (Capacity Spectrum Method, CSM). Dalam dokumen FEMA 440 dijelaskan bahwa metode *Equivalent Linearization* adalah modifikasi dari ATC 40 yang menggunakan Metode Spektrum Kapasitas. Menurut Harun Alrasyid dan Mudji Irmawan (2009) berberapa hal yang dikembangkan pada FEMA 440 diantaranya adalah perhitungan periode efektif dan redaman.

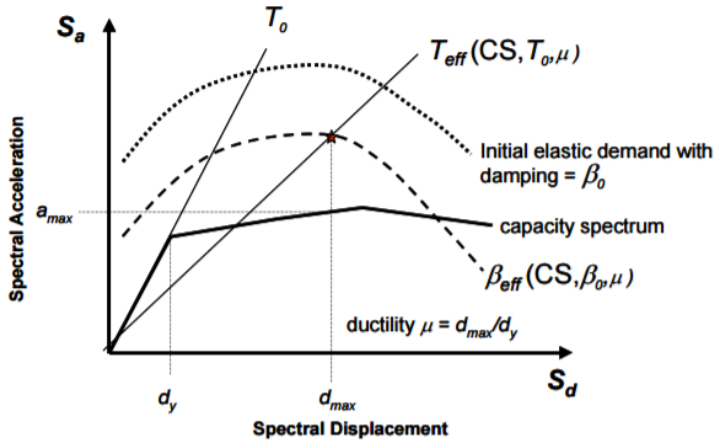
*Capacity spectrum method* menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (capacity spectrum) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (base shear) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum demand yang menggambarkan besarnya demand (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 7 Performance Point pada CSM

(Sumber: *Seismic Performance Evaluation of Building with Pushover Analysis* oleh Ima Muljati Ginsar dan Benjamin Lumantarna)

Spektrum kapasitas didapatkan dari kurva kapasitas (capacity curve) yang diperoleh dari analisis pushover. Karena kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (multi-degree-of-freedom-system, MDOF) terhadap perpindahan yang dipilih sebagai referensi (umumnya puncak bangunan) sedangkan spektrum demand dibuat untuk struktur dengan kebebasan satu (single-degree-of-freedom-system, SDOF), maka kurva kapasitas dengan cara tertentu harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektrum demand. Spektrum demand didapatkan dengan mengubah spektrum respons yang biasanya dinyatakan dalam spektral kecepatan,  $S_a$ , dan Periode,  $T$ , menjadi format spektral percepatan,  $S_a$ , dan spektral perpindahan,  $S_d$ . Format yang baru ini disebut *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS). Kurva kapasitas yang merupakan produk dari pushover dinyatakan dalam satuan gaya dan perpindahan sedangkan demand spectrum memiliki satuan percepatan dan perpindahan. Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan,  $S_a$ , dan spektral perpindahan,  $S_d$ , agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan



Gambar 2. 8 Kurva ADRS dengan Periode dan Damping Efektif  
(Sumber: FEMA 440)

Penyajian secara grafis dapat memberikan gambaran yang jelas bagaimana sebuah bangunan merespons beban gempa. Perencana dapat membuat berbagai skenario kekuatan struktur (dengan cara mengganti kekakuan dari beberapa komponen struktur) dan melihat kinerjanya akibat beberapa level demand yang dikehendaki secara cepat dalam satu grafik. Titik kinerja merupakan perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum demand. Dengan demikian titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi, yaitu: 1) karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu, dan 2) karena terletak pada kurva demand, menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi demand beban yang diberikan. (Ima Muljati Ginsar dan Benjamin Lumantarna, 2007)

Program bantu seperti SAP2000 telah memberikan built-in fitur perhitungan analisis demand berdasarkan FEMA 440 *Equivalent Linearization Method*. Data yang diperlukan untuk perhitungan analisis demand berdasarkan FEMA 440 *Equivalent Linearization Method* pada SAP2000 adalah kurva kapasitas hasil



analisis kapasitas dan spektrum respons. Jika dua data ini sudah tersedia SAP2000 menghitung secara otomatis periode efektif damping efektif, base shear dan perpindahan demand.

## 2.7 Pembebanan Struktur

Menurut ASCE 61-14, kombinasi pembebanan dihitung dengan persamaan berikut.

$$1D + 0.1L + 1.0H + 1.0E \quad (2.7)$$

dimana,

- D = beban mati
- L = beban hidup
- H = tekanan tanah
- E = beban gempa horizontal

Efek gempa pada arah horizontal ortogonal ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$E = \pm 1.0Eh_1 \pm 0.3Eh_2 \quad (2.8)$$

dimana  $Eh_1$  dan  $Eh_2$  adalah gempa pada arah horizontal.

### 2.7.1 Beban Mati

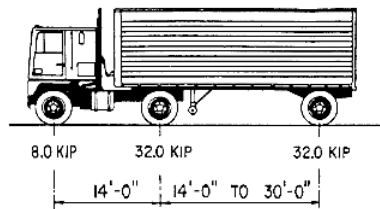
Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu struktur yang bersifat permanen, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari suatu struktur tersebut. Pada program bantu SAP2000 berat sendiri struktur sudah terhitung otomatis sehingga tidak diperlukan untuk menghitung dan menginputkan secara manual.

### 2.7.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penggunaan struktur di dalamnya termasuk beban-beban pada

lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah sehingga dapat mengakibatkan perubahan. ASCE 61-14 mengacu pada ASCE 7-05 dan AASTHO LRFD dalam hal pembebanan beban hidup. Yang termasuk beban hidup pada dermaga yang didesain berdasarkan beban gempa meliputi beban hidup merata (*Uniform Distributed Load*), beban crane dan beban dari Truck

ASCE 7-05 mengatur beban hidup merata untuk dermaga sebesar 1000 psf. AASHTO LRFD Sedangkan beban truck terbagi menjadi dua yakni beban *Tandem* dan beban lajur. Beban *Tandem* ditunjukkan seperti gambar berikut. Sedangkan beban lajur bernilai 0.64 klf. Beban Tandem perlu mempertimbangkan faktor dinamis sedangkan beban lajur tidak.



Gambar 2. 9 Beban *Tandem*  
(Sumber: AASTHO LRFD)

### 2.7.3 Beban Gempa

Gerakan tanah akibat gempa bumi umumnya direkam pada permukaan tanah bebas. Di dalam analisis dan desain struktur tahan gempa penentuan beban rencana yang bekerja pada struktur serta mengetahui periode dasar tanah yang bersesuaian dengan respons maksimum yang terjadi merupakan masalah yang penting. Atas dasar kondisi geologi dan riwayat gempa yang terjadi pada tiap-tiap gempa tersebut, kemudian ditetapkan besar-kecilnya percepatan tanah maksimum akibat gempa yang mungkin terjadi.

Respons Spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur, lawan

respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Ada dua tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan kurva respons spektrum di suatu lokasi yang ditinjau ( *Site Specific Responsce Spectrum* )

1. Tahapan analisis resiko gempa yaitu penentuan besarnya beban gempa yang akan dipergunakan sebagai parameter input pergerakan di batuan dasar dikaitkan dengan resiko terjadinya suatu intensitas gempa di tempat tersebut dan periode ulang dari gempa yang bersangkutan. serta kriteria perancangan atau masa guna ( *Design Lifetime* ) struktur yang akan dibangun
2. Tahapan untuk mendapatkan respons dinamik tanah akibat gempa dengan mempertimbangkan pengaruh lapisan deposit tanah di atas batuan dasar, dalam hal ini pengaruh geometri dan sifat-sifat dinamik tanah.

Terdapat beberapa peraturan mengenai perhitungan beban gempa. Dua diantaranya adalah RSNI 2833-201X dan ASCE 7-05. Kedua peraturan ini memiliki prosedur serupa namun terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan antara perhitungan gempa menggunakan pedoman RSNI 2833-201X dan ASCE 7-05 adalah dalam perhitungan Percepatan Desain Spektra pada Periode 1 Detik. Nilai ini pada ASCE 7-05 berbeda  $2/3$  kali dari nilai  $SD_1$  pada RSNI 2833-201X. Berikut dijabarkan tahapan-tahapan untuk memperoleh desain respons spektrum.

a. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan sifat tanah, situs harus diklasifikasikan sebagai Klasifikasi Tanah A, B, C, D, E, atau F. Apabila sifat tanah tidak diketahui detail, untuk menentukan Klasifikasi Tanah, harus digunakan Klasifikasi Tanah D kecuali jika diperoleh data geoteknik untuk menentukan klasifikasi tanah E atau F. Pengklasifikasian tanah ditentukan berdasarkan kondisi tanah sesuai tabel berikut.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs

Site Class	$V_s$	$N$ or $H_{dn}$	$\bar{z}_0$
A. Hard rock	$>5,000$ ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	$>50$	$>2,000$ psf
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50	1,000 to 2,000 psf
E. Soft clay soil	$<600$ ft/s	$<15$	$<1,000$ psf
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: - Plasticity index $PI > 20$ , - Moisture content $w \geq 40\%$ , and - Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
	See Section 20.3.1		

For SI: 1 ft/s = 0.3048 m/s 1 lb/ft<sup>2</sup> = 0.0479 kN/m<sup>2</sup>

(Sumber: ASCE 7-05)

b. PGA,  $S_S$  dan  $S_1$

Parameter-parameter ini dapat diperoleh dari website resmi BMKG dalam bentuk peta gempa Indonesia. Perbedaan nilai PGA atau Percepatan Respons Spektral,  $S_S$  dan  $S_1$  ditunjukkan dengan perbedaan warna. Parameter PGA,  $S_S$  dan  $S_1$  ditentukan oleh lokasi yang ditinjau, Periode Ulang gempa dan Klasifikasi Site

c. Koefisien Situs  $F_a$ ,  $F_v$

Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  didefinisikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 7 Koefisien Situs  $F_a$ 

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

NOTE: Use straight-line interpolation for intermediate values of  $S_S$ .

(Sumber: ASCE 7-05)

Tabel 2. 8 Koefisien Situs Fv

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	See Section 11.4.7				

NOTE: Use straight-line interpolation for intermediate values of  $S_1$ .

(Sumber: ASCE 7-05)

- d. Parameter Percepatan Respons Spektra  $SM_S$ ,  $SM_1$   
 Percepatan Respons Spectral untuk periode singkat ( $SM_S$ )  
 dan pada periode 1 detik ( $SM_1$ ) dihitung berdasarkan persamaan  
 berikut.

$$SM_S = F_a S_s \quad (2.9)$$

$$SM_1 = F_v S_1 \quad (2.10)$$

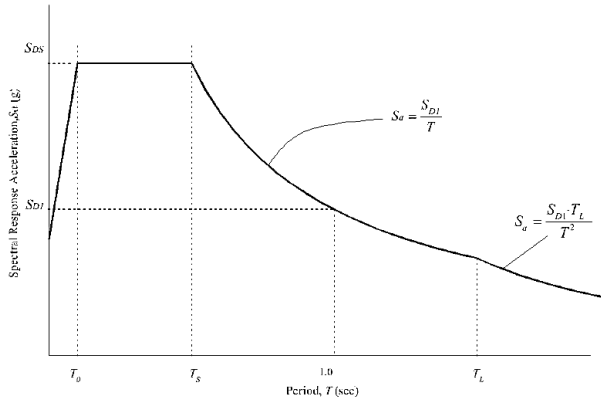
- e. Parameter Percepatan Desain Spektra  $SD_S$  dan  $SD_1$   
 Menurut ASCE-7-05 Percepatan Percepatan Desain  
 Spektra pada period pendek,  $SD_S$ , dan pada period 1 detik,  $SD_1$ ,  
 harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$SD_S = 2/3 SM_S \quad (2.11)$$

$$SD_1 = 2/3 SM_1 \quad (2.12)$$

Sedangkan menurut RSNI 2833-201X, nilai  $SD_S$  sama dengan  
 $SM_S$  dan nilai  $SD_1$  sama dengan nilai  $SM_1$

- f. Desain Respons Spektrum  
 Respons spektrum ditentukan sebagai fungsi Periode (T)  
 terhadap Percepatan Respons Spektrum (g). Nilai T  
 mempengaruhi nilai g seperti yang ditunjukkan pada gambar  
 berikut.



Gambar 2. 10 Kurva Respons Spektrum  
(Sumber: ASCE 7-05)

dimana,

$$T_0 = \frac{0.2 S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.13)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.14)$$

$$T_1 = \text{Periode diatas 1 detik} \quad (2.15)$$

## 2.8 Pemodelan Struktur

Struktur dapat dimodelkan dalam dua dimensi ataupun tiga dimensi. Pemodelan tiga dimensi dilakukan untuk mendapatkan hasil lebih akurat dan lebih banyak digunakan untuk bangunan bangunan yang memiliki ketidakteraturan. Saat ini pemodelan struktur dipermudah dengan hadirnya berbagai macam software, salah satunya adalah SAP2000 dari CSI

### 2.8.1 Assembled Joint Masses

CSI menyebutkan dalam manual SAP2000 bahwa pengguna dapat mengetahui jumlah massa di tiap *joint* pada keluaran hasil analisis. Tabel output *assembled joint masses* secara keseluruhan menunjukkan massa struktur dan pusat massa

### 2.8.2 *Body Constrain*

Secara umum, *constrain* dalam SAP2000 digunakan untuk memodelkan perilaku rigid. *Body constrain* adalah salah satu tipe constrain dimana perilaku elemen yang dihubungkan akan bergerak bersama-sama pada arah yang ditentukan dalam ranah tiga dimensi. Pengguna dapat memilih dalam arah mana saja dari U1,U2,U3,R1,R2,R3 dua atau lebih elemen akan bergerak bersama-sama.

### 2.8.3 *Multilinear Plastic Link*

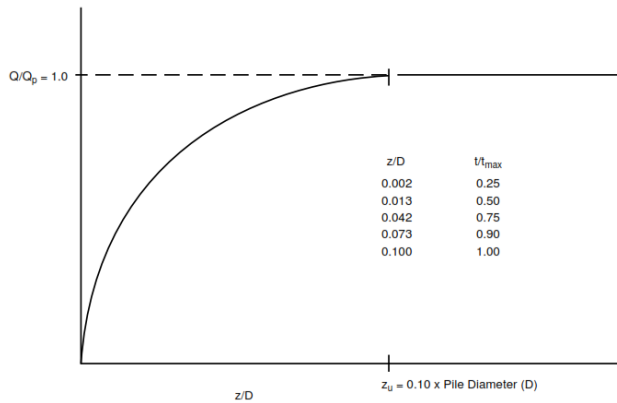
*Multilinear plastic link* adalah salah satu fitur *nonlinear support* pada SAP2000. Pada fitur ini dapat definisikan linier atau nonlinier 6 DOF. Jika DOF didefinisikan tidak linier maka dibutuhkan untuk menginput kurva yang mendefinisikan ketidaklinieran fungsi gaya terhadap perpindahan.

## 2.9 **Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur**

Pondasi tiang harus didesain mampu menahan beban lateral dan aksial baik *statik* maupun *cyclic* atau bolak-balik. Tanah dimodelkan dengan spring Q-Z dan T-Z pada saat diberi beban aksial dan spring P-Y saat diberi beban lateral. Spring Q-Z adalah pemodelan daya dukung tanah pada ujung tiang, sedangkan spring T-Z adalah gaya dukung tanah friksi yang dapat diiputkan sepanjang tiang atau satu nilai di ujung tiang. Berdasarkan ketentuan ASCE 61-14, perhitungan spring disarankan mengacu pada API RP2A-WSD.

### 2.9.1 **Spring Q-Z**

Ketentuan perhitungan spring Q-Z dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 11 Kurva Q-Z  
(Sumber: API RP2A-WSD)

dimana,

$Z$  = defleksi tiang (in)

$D$  = diameter tiang (in)

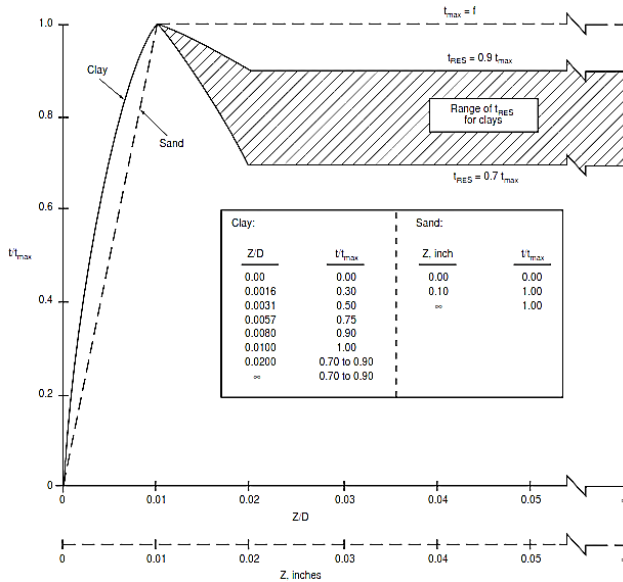
$t$  = daya dukung ujung tanah ( $\text{lb/ft}^2$ )

$t_{\max}$  = daya dukung ujung tanah maksimum ( $\text{lb/ft}^2$ )

### 2.9.2 Spring T-Z

Spring T-Z dapat diinputkan pada ujung tiang saja maupun pada sepanjang tiang. Berikut ketentuan-ketentuan perhitungan spring T-Z berdasarkan API RP2A-WSD.





Gambar 2. 12 Kurva T-Z  
(Sumber: API RP2A-WSD)

dimana,

Z = defleksi tiang (in)

D = diameter tiang (in)

t = daya dukung friksi tanah (lb/ft<sup>2</sup>)

t<sub>max</sub> = daya dukung friksi tanah maksimum (lb/ft<sup>2</sup>)

Karena sifat tanah yang tidak menentu, koefisien *upper-bound* dan *lower-bound* yang masing-masing bernilai 2 dan 0.5, perlu dikalikan dengan nilai daya dukung tanah.

### 2.9.3 Spring P-Y

Untuk tanah pasir nilai P<sub>u</sub> pada spring P-Y ditentukan dari nilai terkecil dari persamaan berikut

$$p_{us} = (C1 \times H + C \times D) \times \gamma \times H_2 \quad (2.16)$$

$$p_{ud} = (C_1 \times H + C \times D) \times \gamma \times H_2 \quad (2.17)$$

dimana,

$p_u$  = daya dukung ultimate (lbs/in)

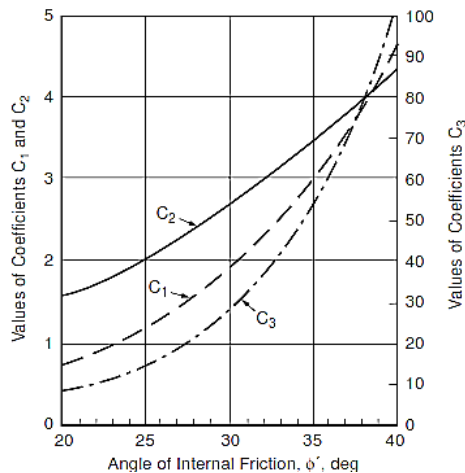
$\gamma$  = berat efektif tanah (lbs/in<sup>3</sup>)

$H$  = kedalaman (in)

$\phi'$  = sudut geser tanah pasir (deg)

$C_1, C_2, C_3$  = koefisien ditentukan berdasarkan Gambar 2. 13

$d$  = diameter tiang (in)



Gambar 2. 13 Koefisien Sebagai Fungsi  $\phi'$   
(Sumber: API RP2A-WSD)

Dan berikut persamaan kurva P-Y untuk tanah pasir.

$$P = A \times p_u \times \tanh\left(\frac{k \times H}{A \times p_u}\right) \times y \quad (2.18)$$

dimana,

$A = 0.9$

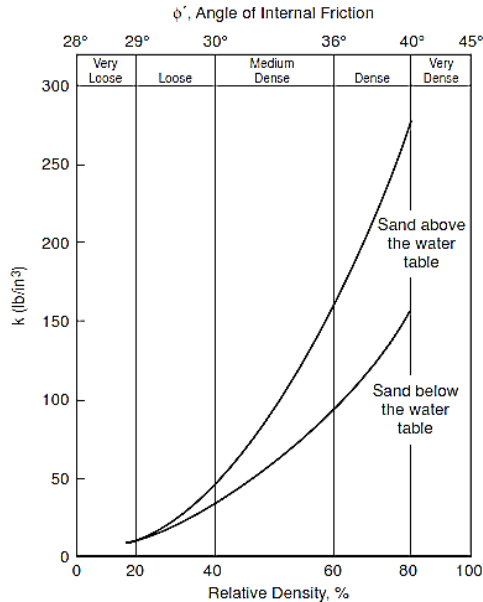
$p_u$  = daya dukung tanah ultimit pada kedalaman  $H$  (lbs/in)

$k$  = *intial modulus* dari reaksi tanah ditentukan dari Gambar 2. 14

Initial Modulus dari Reaksi Tanah (lbs/in<sup>3</sup>)

$y$  = defleksi lateral (in)

$h$  = kedalaman (in)



Gambar 2. 14 Initial Modulus dari Reaksi Tanah  
(Sumber: API RP2A-WSD)

Karena sifat tanah yang tidak menentu, koefisien *upper-bound* dan *lower-bound* yang masing-masing bernilai 2 dan 0.3, perlu dikalikan dengan nilai daya dukung tanah.

#### 2.9.4 Daya dukung tanah

Persamaan daya dukung tanah menurut API RP2A-WSD adalah sebagai berikut.

$$Qd = Qf + Qp = fAs + qAp \quad (2.19)$$

dimana,

$Q_f$  = daya dukung tanah friksi  
 $Q_p$  = daya dukung tanah ujung  
 $f$  = unit daya dukung friksi  
 $A_s$  = luas sisi tiang pancang  
 $q$  = unit daya dukung ujung  
 $A_p$  = luas ujung tiang pancang

Nilai unit daya dukung friksi ditentukan oleh kuat geser tanah sedangkan nilai unit daya dukung ujung tanah ditentukan oleh tekanan efektif overburden tanah. Data soil properties ini didapatkan dari hasil uji laboratorium terhadap tanah yang ditinjau. Jika data hasil uji lab tidak diketahui atau tidak dilakukan pengujian sampel tanah, dapat dilakukan beberapa pendekatan. API RP2A-WSD merekomendasikan estimasi batas nilai  $f$  dan  $q$  untuk tanah *cohesionless* tabel berikut.

Tabel 2. 9 Parameter Desain Tanah *Cohesionless*

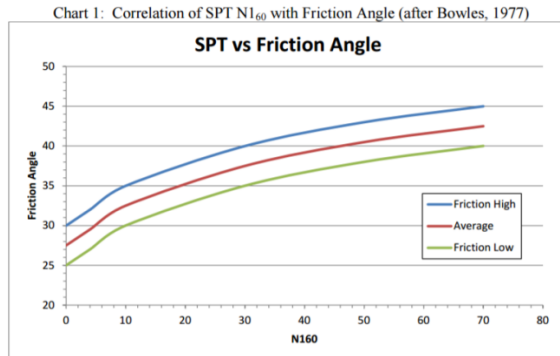
Density	Soil Description	Soil-Pile Friction Angle, $\delta$ Degrees	Limiting Skin Friction Values kips/ft <sup>2</sup> (kPa)	$N_q$	Limiting Unit End Bearing Values kips/ft <sup>2</sup> (MPa)
Very Loose	Sand	15	1.0 (47.8)	8	40 (2.9)
Loose	Sand-Silt**				
Medium	Silt				
Loose	Sand	20	1.4 (67.0)	12	60 (2.9)
Medium	Sand-Silt**				
Dense	Silt				
Medium	Sand	25	1.7 (81.3)	20	100 (4.8)
Dense	Sand-Silt**				
Dense	Sand	30	2.0 (95.7)	40	200 (9.6)
Very Dense	Sand-Silt**				
Dense	Gravel	35	2.4 (114.8)	50	250 (12.0)
Very Dense	Sand				

(Sumber: API RP2A-WSD)

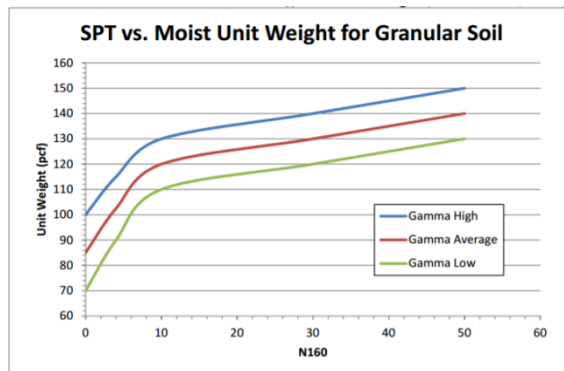
### 2.9.5 Korelasi Sifat-Sifat Tanah

Bowles melakukan studi terhadap hubungan antara sifat tanah satu dan sifat tanah lainnya. Hubungan antara NSPT dan

sudut geser tanah serta hubungan antara NSPT dan berat jenis tanah disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2. 15 Kurva Hubungan NSPT dan Sudut Geser Tanah  
(Sumber: *Foundation Analysis and Design* oleh Bowles)



Gambar 2. 16 Kurva Hubungan NSPT dan Berat Jenis Tanah  
(Sumber: *Foundation Analysis and Design* oleh Bowles)

## 2.11 Tipe Sambungan

Tipe sambungan tiang pancang terhadap dek turut menentukan batas regangan tiap level kinerja dan metode penyederhanaan momen kurvatur.

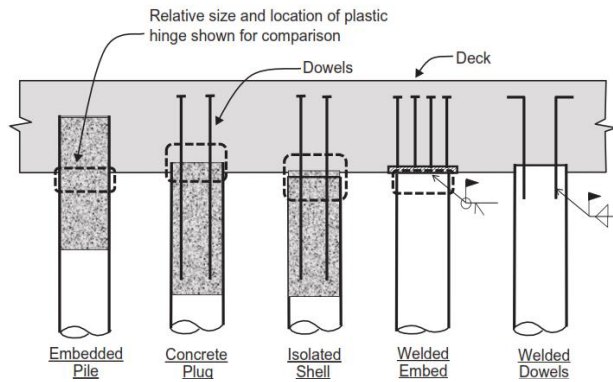
Tabel 2. 10 Sambungan Tiang terhadap Pile Cap

Connection	Referenced section	Permitted moment-curvature analysis method(s)	Strain limits provided <sup>a</sup>
<b>Steel pipe pile connections</b>	<b>7.4.2</b>		
Embedded pile	7.4.2.1	Method B	— <sup>b</sup>
Concrete plug	7.4.2.2	Method B	Yes
Isolated shell	7.4.2.3	Method B	Yes
Welded embed	7.4.2.4	Method B	No
Welded dowels	7.4.2.5	NA	No
<b>Prestressed concrete pile connections</b>	<b>7.4.3</b>		
Pile buildup	7.4.3.1	Method A	No
Extended strand	7.4.3.2	Method A	No
Embedded pile	7.4.3.3	Method A	No
Dowelled	7.4.3.4	Method A or B	Yes
Hollow dowelled	7.4.3.5	Method A or B	Yes
External confinement	7.4.3.6	Method B	Yes
Isolated interface	7.4.3.7	Method A or B	Yes
<b>Other connections<sup>c</sup></b>	<b>7.4.4</b>		
Pinned connections	7.4.4.1	Method B	No
Batter pile connections	7.4.4.2	Method A or B	No

<sup>a</sup>As provided in Tables 3-1, 3-2, and 3-3<sup>b</sup>Use same strain limits as in-ground hinge.<sup>c</sup>Other connections are permitted as discussed in Section 7.4.1.

(Sumber: ASCE 61-14)

Tipe sambungan *embedded* pile adalah tipe sambungan *full-moment*. Dari tabel diatas diketahui bahwa sambungan ini menggunakan analisis momen kurvatur metode A dan batas regangan yang digunakan adalah sama seperti batas regangan pada *in-ground hinge* atau sendi plastis yang tertanam dalam tanah.



Gambar 2. 17 Macam-Macam Tipe Sambungan pada Tiang Baja  
(Sumber: ASCE 61-14)

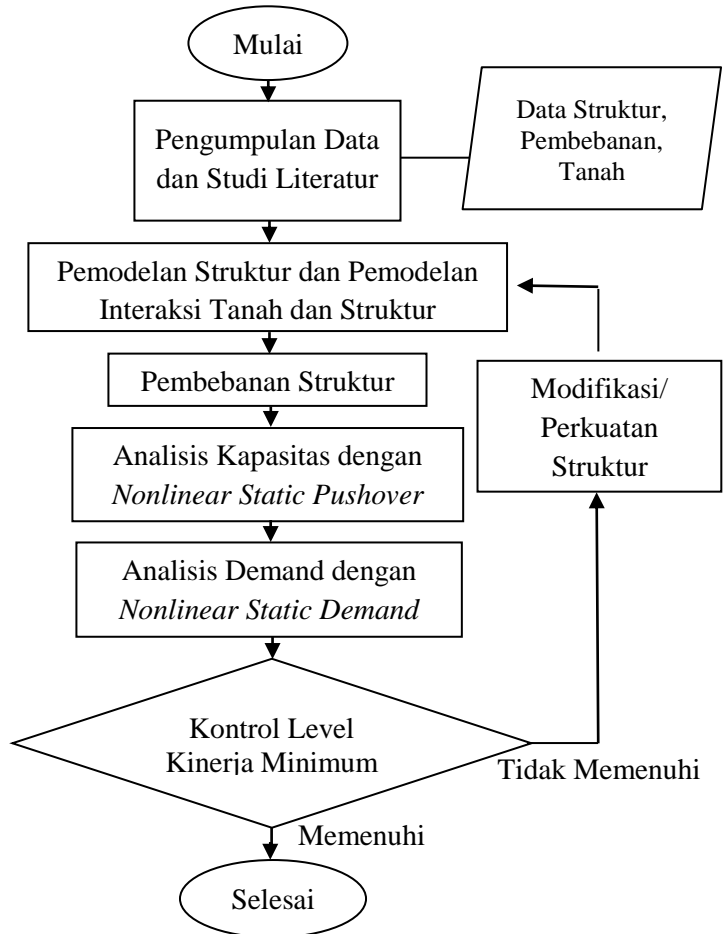
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



### BAB III METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah mengerjakan Tugas Akhir digambarkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir

### **3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir**

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### **3.2.1 Pengumpulan Data**

Diketahui data umum dermaga dan data tanah sebagai berikut.

##### **3.2.1.1 Data Umum**

1. Nama dermaga : Dermaga Pidie, Aceh
2. Lokasi : Kabupaten Pidie, Aceh
3. Fungsi : Dermaga semen dan batu bara
4. Material dek : Beton bertulang K-350  $f_y$  400 Mpa
5. Material tiang : Baja  $f_y$  310 MPa  $f_u$  435 Mpa
6. Kondisi geologi : Kondisi geologi pada daerah tanjung merupakan daerah sand stone. Pada lapisan bawah terdiri dari batu karang kerikil berpasir berlanau

##### **3.2.1.2 Data Tanah**

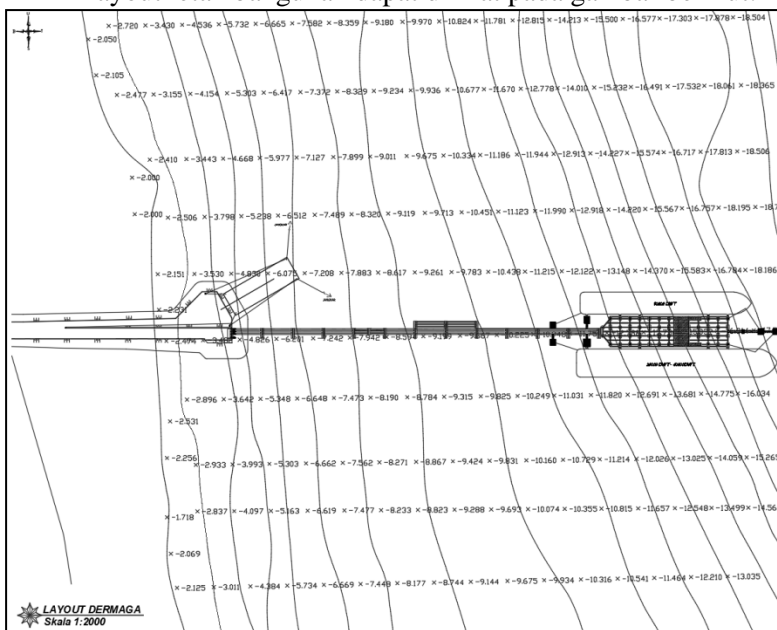
Penyelidikan tanah yang dilakukan adalah jenis Bor Dalam dengan kedalaman bervariasi sesuai kondisi tanah di masing-masing titik bor. Berikut disajikan data tanah dari tiga titik bor. Untuk data tanah yang lebih detail dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3. 1 Data Tanah

Kedalaman (m)	NSPT		
	Titik Bor 1. Kedalaman Muka Air Laut=+4.75m	Titik Bor 2 Kedalaman Muka Air Laut=+6.50m	Titik Bor 3 Kedalaman Muka Air Laut=+7.25m
2	26	20	17
4	15	27	18
6	22	30	26
8	35	28	35
10	47	35	45
12	60	60	60
20	60	60	60

### 3. Data Layout

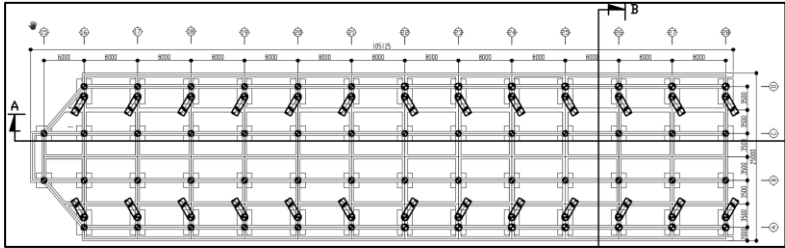
Layout letak bangunan dapat dilihat pada gambar berikut.



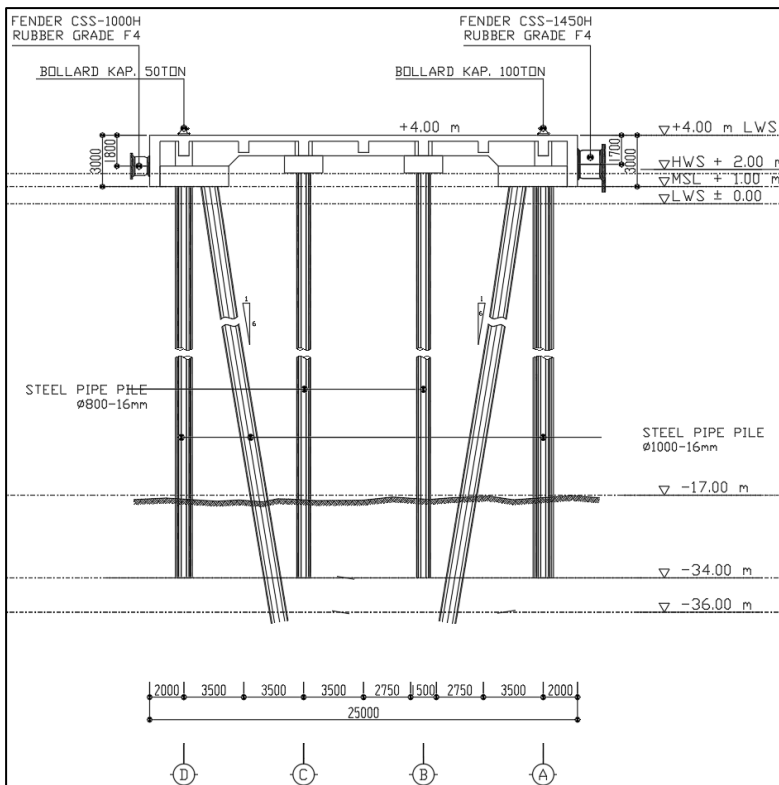
Gambar 3. 2 Layout Dermaga

### 5. Data struktur

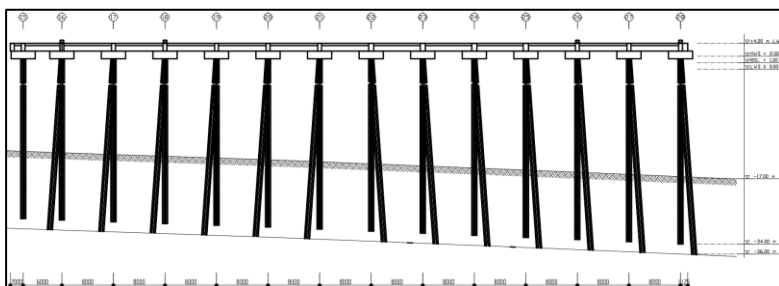
Data struktur secara umum disajikan pada gambar-gambar berikut. Untuk data struktur yang lebih detail dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 3. 3 Denah Struktur Dermaga



Gambar 3. 4 Potongan Melintang Struktur Dermaga



Gambar 3. 5 Potongan Memanjang Struktur Dermaga

### 3.2.2 Studi Literatur

Literatur yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis kinerja struktur dermaga sesuai ASCE 61-14
2. Analisis demand sesuai FEMA 440 *Equivalent Linearization*
3. Perencanaan beban mati dan hidup sesuai ASCE 7-05
4. Perencanaan beban hidup kendaraan sesuai AASTHO LRFD
5. Perencanaan beban gempa sesuai RSNI 2833-201X dan ASCE 7-05
6. Pemodelan interaksi tanah dan struktur sesuai API RP2A-WSD
7. Jurnal-jurnal yang berkaitan dengan kinerja struktur dermaga.

### 3.2.3 Pemodelan Struktur dan Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur

Struktur dan daya dukung tanah dimodelkan menggunakan program bantu SAP2000 v19 dengan ranah tiga dimensi. Daya dukung tanah dimodelkan secara nonlinier berdasarkan API RP2A-WSD

### 3.2.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur mengacu AASTHO LRFD ASCE 7-05 dan RSNI 2833-201X. Perlu diperhatikan bahwa beban crane dimodelkan sebagai beban mati tambahan. Pada desain struktur berdasarkan beban gempa, beban yang inputkan adalah beban mati, beban mati tambahan, beban hidup merata dan beban gempa.

### 3.2.5 Analisis Kapasitas

Dalam tahapan ini dihitung kapasitas struktur menggunakan analisis *Nonlinear Static Pushover*. Dalam analisis

ini dihasilkan kurva kapasitas yang merupakan kurva *base shear* terhadap *displacement*.

### **3.2.6 Analisis Demand**

Analisis demand dilakukan untuk mengetahui kinerja struktur terhadap beban tertentu. Analisis Modal Respons Spektrum dan analisis *Nonlinear Static Demand* berdasarkan *FEMA 440 Equivalent Linearization* dilakukan untuk melakukan analisis demand.

### **3.2.7 Kontrol Level Kinerja Minimum**

Setelah mendapatkan level kinerja struktur, level kinerja tersebut dibandingkan terhadap persyaratan minimum yang ditetapkan oleh ASCE 61-14. Jika level kinerja melampaui atau minimal sama dengan yang disyaratkan, Tugas Akhir telah selesai. Namun jika level kinerja di bawah yang disyaratkan, maka perlu dilakukan modifikasi struktur lalu diikuti pemodelan struktur.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan langkah-langkah pada Gambar 3. 1. Sebagian dari hasil dan pembahasan pada bab ini ditulis pada makalah berjudul “*Seismic Performance Evaluation of A Pile-supported Pier in Aceh, Indonesia*” yang akan dimuat pada prosiding *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* yang akan diterbitkan pada Agustus 2017 pada seminiar ICASIE 2017.

### 4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan program bantu struktur SAP200 v19. Struktur dimodelkan dalam ruang tiga dimensi.

#### 4.1.1 Material

Data material yang dimasukan merupakan material beton, tulangan dan tiang pancang. *Expected Material Strength* diinputkan pada setiap material sesuai dengan perhitungan.

1. Beton:  $f_{ce} = 1.4f_c = 1.4 \times 29.05 = 37.77 \text{ MPa}$
2. Tulangan:  $f_{ye} = 1.1f_y = 1.1 \times 400 = 440 \text{ Mpa}$   
 $f_{ue} = 1.4f_{ye} = 1.4 \times 440 = 560 \text{ Mpa}$
3. Tiang pancang:  $f_{yhe} = 1.0f_{yh} = 310 \text{ MPa}$ . *Expected material strength* untuk kuat leleh ultimate tiang diasumsikan  $1.0 f_{yhe} = 310 \text{ MPa}$

#### 4.1.2 Elemen Struktur

Berikut ini data elemen struktur balok, tiang pancang, dan pelat.

Tabel 4. 1 Dimensi Elemen Struktur

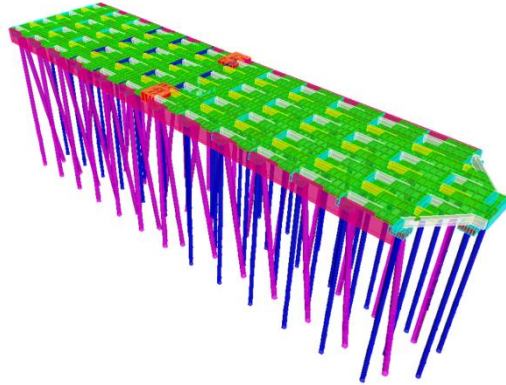
Elemen Struktur	Jenis	Dimensi
Balok	Balok Melintang	60x120 cm
	Balok Memajang	60x100 cm, 60x120 cm
	Balok Fender	60x300 cm
	Balok Crane	80x120 cm
Tiang Pancang		Diameter 1m
		Diameter 0.8
Pelat	Pelat lantai	Tebal 350 mm
	Pelat Crane	Tebal 2 m
Pile Cap		2250x2250x1000 mm
		3750x2250x1200 mm

#### 4.1.3 Elemen Rigid

Jarak antara pusat gravitasi pile cap dengan tiang pancang atau daerah *overlap* pile cap dengan tiang pancang pada sambungan tipe *embedded pile*, boleh dimodelkan sebagai elemen rigid. Untuk memodelkan elemen rigid pada SAP2000, digunakan fitur *Body Constrain*.

#### 4.1.4 Pemodelan Struktur Tiga Dimensi

Berikut pemodelan struktur tiga dimensi yang dilakukan pada program SAP2000 v19.



Gambar 4. 1 Pemodelan 3D Struktur Dermaga

#### 4.2 Pemodelan Interaksi Tanah dan Struktur

Dalam analisis struktur nonlinear perilaku tanah sebaiknya juga dimodelkan secara nonlinear. Perilaku nonlinear ini dapat dimodelkan dalam SAP2000 dengan bantuan fitur *Multilinear Plastic Link*.

Perhitungan daya dukung tanah memerlukan data karakteristik tanah berupa sudut geser dan berat jenis tanah dari hasil uji laboratorium. Pada Tugas Akhir ini tidak tersedia data tersebut sehingga sudut geser tanah ditentukan dari kurva hubungan antara NSPT dan sudut geser tanah serta NSPT dan berat jenis tanah yang diperkenalkan oleh Bowles seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 15 dan Gambar 2. 16. Nilai NSPT yang digunakan dipilih dari data bor dengan daya dukung tanah paling rendah yakni titik 3 dimana kedalaman muka air laut adalah +7.25 m. Berikut tabel hasil plot NSPT terhadap kurva Bowles.

Tabel 4. 2 Nilai Sudut Geser dan Berat Jenis

Kedalaman (m)	NSPT	Sudut Geser	Berat Jenis	
		(°)	(pcf)	(ton/m <sup>3</sup> )
2	17	34.5	124	2.18
4	18	35.0	125	2.20
6	26	36.5	128	2.26
8	35	38.5	132	2.33
10	45	40.0	135	2.38
12	60	41.5	140	2.47
14	60	41.5	140	2.47
16	60	41.5	140	2.47
18	60	41.5	140	2.47
20	60	41.5	140	2.47

Dalam penentuan daya dukung tanah baik yang dibebani secara aksial maupun lateral, perlu ditentukan per panjang tiang pancang tertentu. Dalam Tugas Akhir ini diambil panjang tiang dua meter.

Hasil dari perhitungan interaksi struktur dan tanah adalah kurva gaya terhadap deformasi. Karena perilaku tanah yang tidak menentu, gaya pada kurva tersebut perlu dikalikan nilai koefisien *upper-bound* dan *lower-bound*.

#### 4.2.1 Spring Q-Z

Spring Q-Z merupakan daya dukung ujung tanah saat diberi beban aksial. Perhitungan dan kurva spring Q-Z dijelaskan pada poin-poin berikut.

## 1. Daya Dukung Tanah Ujung

$$Qd = qAp$$

dimana,

$Qd$  = daya dukung tanah ujung

$q$  = unit daya dukung ujung

$Ap$  = luas ujung tiang pancang

Berdasarkan Tabel 4. 2, sudut geser tanah pada sepanjang tiang memiliki nilai kurang lebih  $35^\circ$  atau lebih dari  $35^\circ$ . Nilai sudut geser tanah ini menentukan nilai  $q$ . Dari Tabel 2. 9 diketahui untuk sudut geser  $35^\circ$  daya dukung unit ujung nya adalah 12 MPa.

Luas sisi tiang pancang bergantung pada diameter tiang pancang. Struktur dermaga yang mejadi objek evaluasi pada Tugas Akhir ini, memiliki 2 jenis tiang pancang dengan diameter 800 mm dan 1000 m. Berikut perhitungan  $Ap$  untuk masing-masing diameter tiang.

$$D800mm \quad Ap = \frac{1}{4} \pi (D^2 - (D-2t)^2) = \frac{1}{4} \pi (1000^2 - (1000 - 2 \times 16)^2) = 39408.14 \text{ mm}^2$$

$$D1000mm \quad Ap = \frac{1}{4} \pi (D^2 - (D-2t)^2) = \frac{1}{4} \pi (800^2 - (800 - 2 \times 16)^2) = 49461.23 \text{ mm}^2$$

Dari nilai  $f$  dan  $As$  dapat diketahui nilai  $Qd$  sebagai berikut.

$$D800mm \quad Qd = qAp = 12 \times 39408.14 = 472897.66 \text{ N}$$

$$D1000mm \quad Qd = qAp = 12 \times 49461.23 = 593534.82 \text{ N}$$

## 2. Kurva Q-Z

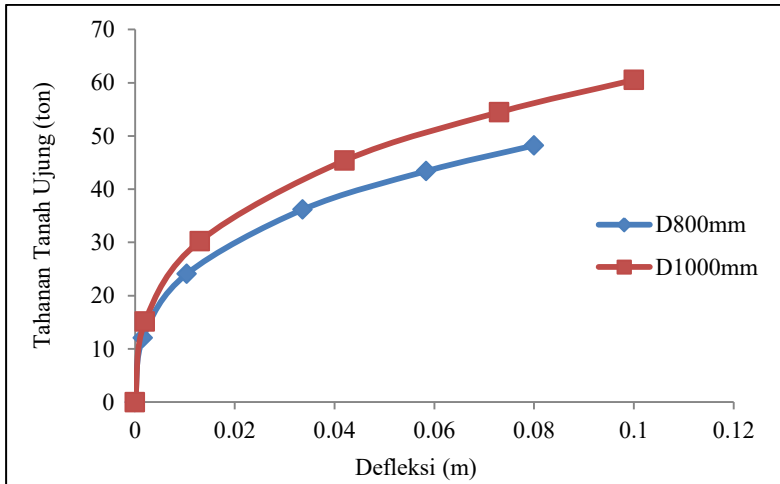
Kurva Q-Z ditentukan berdasarkan Gambar 2. 11. Berikut adalah tabel hubungan gaya dan deformasi T-Z serta gambar kurva T-Z. Perlu diperhatikan nilai pada tabel dan gambar belum dikalikan koefisien *upper-bound* dan *lower-bound*.

Tabel 4. 3 Hubungan Gaya dan Deformasi Q-Z Tiang Pancang  
D800mm

$z/D$	$Q/Q_p$	$z$ (m)	$Q$ (ton)
0	0	0	0
0.002	0.25	0.002	12.056
0.013	0.50	0.010	24.111
0.042	0.75	0.034	36.167
0.073	0.90	0.058	43.400
0.100	1.00	0.080	48.222

Tabel 4. 4 Hubungan Gaya dan Deformasi Q-Z Tiang Pancang  
D800mm

$z/D$	$Q/Q_p$	$z$ (m)	$Q$ (ton)
0	0	0	0
0.002	0.25	0.002	12.056
0.013	0.50	0.010	24.111
0.042	0.75	0.034	36.167
0.073	0.90	0.058	43.400
0.100	1.00	0.080	48.222



Gambar 4. 2 Nilai Kurva Q-Z

#### 4.2.2 Spring T-Z

Spring T-Z merupakan daya dukung friksi tanah saat diberi beban aksial. Perhitungan dan kurva spring T-Z dijelaskan pada poin-poin berikut.

##### 1. Daya Dukung Tanah Friksi

$$Q_f = f A_s \quad (2.21)$$

dimana,

$Q_f$  = daya dukung tanah friksi

$f$  = unit daya dukung friksi

$A_s$  = luas sisi tiang pancang

Berdasarkan Tabel 4. 2, sudut geser tanah pada sepanjang tiang memiliki nilai kurang lebih  $35^\circ$  atau lebih dari  $35^\circ$ . Nilai sudut geser tanah ini menentukan nilai  $f$ . Dari Tabel 2. 9 diketahui

untuk sudut geser  $35^\circ$  daya dukung unit friksi nya adalah 114.8 kPa. Berikut perhitungan  $A_s$  untuk masing-masing diameter tiang.

$$D800\text{mm } A_s = 2 \times \frac{1}{2} \pi D = 2 \times \pi \times 800 = 2513.27 \text{ mm}$$

$$D1000\text{mm } A_s = 2 \times \frac{1}{2} \pi D = 2 \times \pi \times 1000 = 3149.59 \text{ mm}$$

Dari nilai  $f$  dan  $A_s$  dapat diketahui nilai  $Q_f$  sebagai berikut.

$$D800\text{mm } Q_f = f A_s = 0.1148 \times 2513.27 = 288.524 \text{ N}$$

$$D1000\text{mm } Q_f = f A_s = 0.1148 \times 3149.59 = 360.655 \text{ N}$$

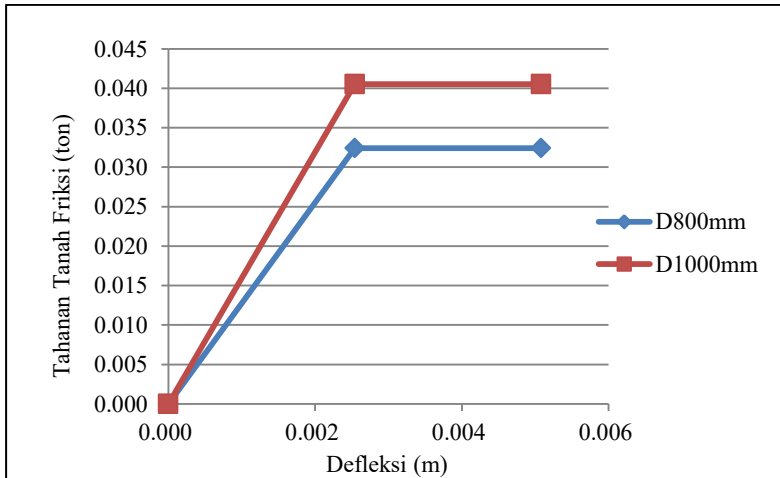
## 2. Kurva T-Z

Kurva T-Z ditentukan berdasarkan Gambar 2. 12. Berikut adalah tabel hubungan gaya dan deformasi T-Z serta gambar kurva T-Z. Perlu diperhatikan nilai pada tabel dan gambar belum dikalikan koefisien *upper-bound* dan *lower-bound*

Tabel 4. 5 Hubungan Gaya dan Deformasi T-Z

Z (m)	Q (ton)	
	D = 0.8 m	D = 1 m
0	0	0
0.00254	0.0324	0.0405





Gambar 4. 3 Nilai Kurva T-Z

#### 4.2.3 Spring P-Y

Spring P-Y merupakan daya dukung tanah saat diberi beban lateral. Perhitungan dan kurva spring P-Y dijelaskan pada poin-poin berikut.

##### 1. Daya Dukung Lateral

Berdasarkan persamaan 2.10, 2.11 dan 2.12, daya dukung tanah lateral dipengaruhi oleh koefisien-koefisien tanah seperti berat jenis, *initial modulus*, dan lain lain. Koefisien-koefisien ini merupakan fungsi dari sudut geser tanah. Berat jenis dapat diketahui dari Gambar 2. 16, modulus tanah dari Gambar 2. 14 sedangkan koefisien lainnya seperti C1, C2 dan C3 ditentukan berdasarkan Gambar 2. 13. Berikut tabel yang menunjukkan berat jenis, initial modulus, C1, C2 dan C3 pada tiap kedalaman tanah.

Tabel 4. 6 Nilai Koefisien dalam Perhitungan Spring P-Y

Depth (m)	NSPT	$\phi$ (°)	C1	C2	C3	Y (ton/m)	k
2	17	34.5	3.0	3.0	50.0	2.18	40
4	18	35.0	2.9	4.0	55.0	2.20	75
6	26	36.5	3.0	3.5	62.0	2.26	80
8	35	38.5	4.0	3.7	80.0	2.33	90
10	45	40.0	5.0	5.0	100.0	2.38	140
12	60	41.5	5.0	5.0	100.0	2.47	150
14	60	41.5	5.0	5.0	100.0	2.47	150
16	60	41.5	5.0	5.0	100.0	2.47	150
18	60	41.5	5.0	5.0	100.0	2.47	150
20	60	41.5	5.0	5.0	100.0	2.47	150

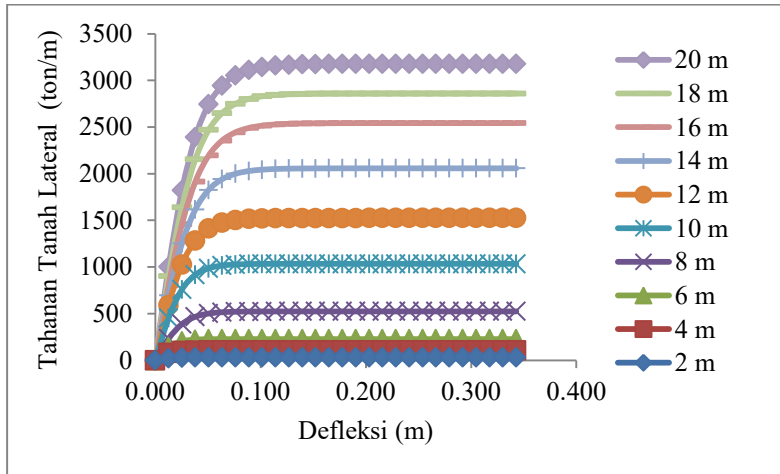
Langkah selanjutnya adalah menghitung daya dukung tanah ultimate pada setiap kedalaman untuk masing masing diameter tiang, sesuai dengan persamaan 2.10 untuk  $P_{us}$  dan 2.11 untuk  $P_{ud}$ . Kemudian dipilih nilai terkecil dari hasil kedua persamaan tersebut.

Tabel 4. 7 Nilai Daya Dukung Lateral Ultimate

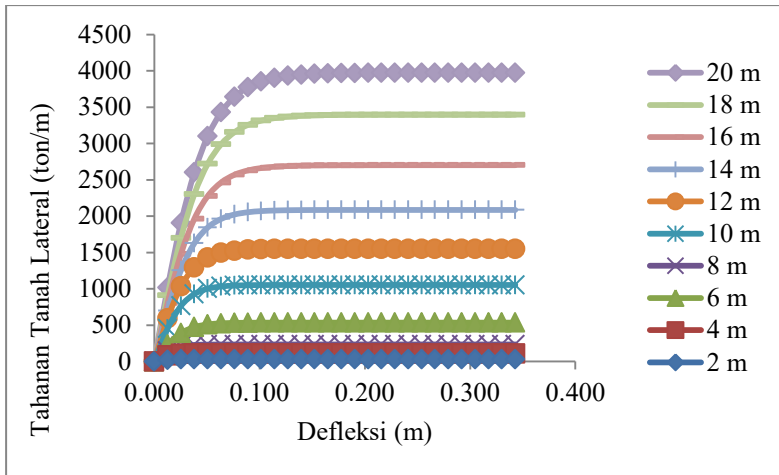
Depth (m)	$P_{us}$ (ton/m)		$P_{ud}$ (ton/m)		$P_u$ (ton/m)	
	D800	D100	D800	D1000	D800m	D1000
	mm	0mm	mm	mm	m	mm
2	33	35	156	195	33	35
4	117	123	347	434	117	123
6	252	260	601	751	252	260
8	582	594	1065	1332	582	594
10	1149	1171	1703	2128	1149	1171
12	1695	1722	2119	2649	1695	1722
14	2287	2318	2472	3090	2287	2318
16	2966	3002	2825	3531	2825	3002
18	3735	3774	3178	3973	3178	3774
20	4591	4635	3531	4414	3531	4414

## 2. Kurva P-Y

Hubungan gaya dan deformasi pada spring P-Y ditentukan berdasarkan persamaan 2.12. Berikut kurva P-Y untuk tiap kedalaman. Perlu diperhatikan nilai pada tabel dan gambar belum dikalikan koefisien *upper-bound* dan *lower-bound*



Gambar 4. 4 Nilai Kurva P-Y untuk Tiang D800mm



Gambar 4. 5 Nilai Kurva P-Y untuk Tiang D1000mm

### 4.3 Pembebanan Struktur

Beban yang diperhitungkan merupakan kombinasi dari beban vertikal yang merupakan beban mati dan beban hidup serta beban horizontal yakni beban gempa.

#### 4.3.1 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

##### 4.3.1.1 Beban Mati

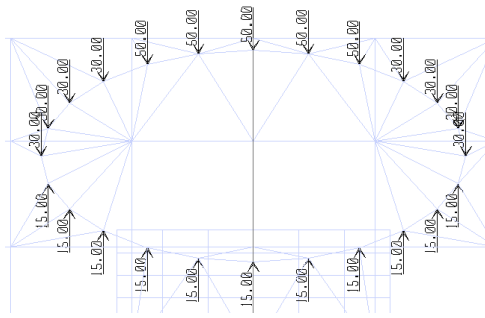
Berat mati merupakan berat sendiri struktur yang diinputkan saat pendefinisian material. Berat baja dibawah ini digunakan untuk material tulangan dan tiang pancang

1. Beton Bertulang :  $2.40 \text{ ton} / \text{m}^3$
2. Baja :  $7.85 \text{ ton} / \text{m}^3$

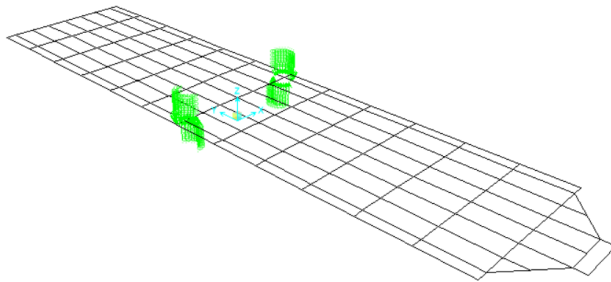
##### 4.3.1.2 Beban Mati Tambahan

1. Beban *Static Crane*

Beban *Static Crane* diletakkan pada kanan kiri dermaga yang letaknya di tengah-tengah dermaga. Dengan beban satu crane adalah 490 ton sisi tekan dan 165 ton sisi cabut.



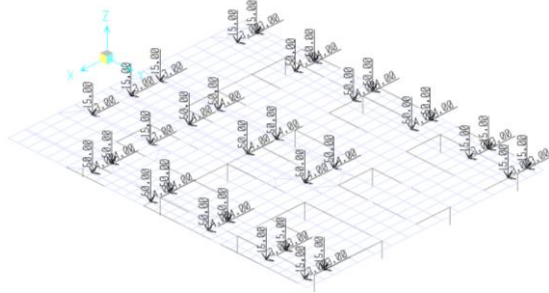
Gambar 4. 6 Beban *Static Crane* (dalam satuan ton)



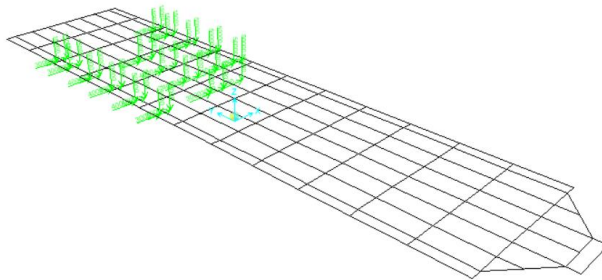
Gambar 4. 7 Letak Beban *Static Crane*

## 2. Beban *Loading Crane*

Beban *Loading Crane* diletakkan pada salah satu sisi dermaga yang letaknya di tengah-tengah dermaga. Dengan beban terbagi menjadi beberapa kolom yang dapat dilihat pada pemodelan lan berikut.



Gambar 4. 8 Beban *Loading Crane* (dalam satuan ton)



Gambar 4. 9 Letak Beban *Loading Crane*

#### 4.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan Persamaan 2.7, beban hidup yang termasuk dalam kombinasi pembebanan adalah beban hidup merata. Beban hidup merata terdiri dari beban hidup merata dari dermaga dan beban hidup merata dari truck. Beban hidup dermaga yang bekerja seluas dek dermaga dipilih untuk diinputkan pada struktur karena memiliki nilai lebih besar dari beban hidup merata truck maupun kombinasi beban hidup merata keduanya. ASCE 61-14 merujuk pada ASCE 7-05 dalam penentuan beban hidup merata untuk dermaga yakni sebesar 1000 psf.

#### 4.3.3 Beban Gempa

Beban gempa ditentukan berdasarkan dua peraturan yakni RSNI 2833-201X dan ASCE 7-05. Beban gempa nantinya akan

digunakan pada analisis demand. Pada Tugas Akhir ini, kinerja dermaga akan diuji terhadap gempa 950 dan 2475.

#### 1. Klasifikasi Situs

Untuk mengklasifikasikan situs, terdapat beberapa metode yakni metode Rerata Kecepatan Gelombang Geser, Rerata NSPT dan Rerata Kekuatan Geser *Undrained*. Tabel 2. 6. digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan metode yang digunakan.

Pada Tugas Akhir ini, hasil data tanah yang diperoleh dari lapangan adalah data sondir. Untuk itu metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah adalah metode Rerata NSPT. Persyaratan utama yang dipakai untuk perhitungan dengan metode ini adalah data yang dipakai untuk perhitungan hanya data pada kedalaman tanah kurang dari 30 meter saja.

Rumus perhitungan klasifikasi tanah dengan metode nilai NSPT disajikan pada Persamaan 2.21. Hasil dari perhitungan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{Ni} \quad (2.20)$$

dimana,

$di$  = tebal lapisan tanah

$Ni$  = nilai NSPT

Tabel 4. 8 Perhitungan Rerata NSPT

Kedalaman (m)	NSPT	Ketebalan Lapisan Tanah (m)	$d_i / N_i$
2	17	2	0.118
4	18	2	0.111
6	26	2	0.077
8	35	2	0.057
10	45	2	0.044
12	60	2	0.033
14	60	2	0.033
16	60	2	0.033
18	60	2	0.033
20	60	2	0.033
22	60	2	0.033
24	60	2	0.033
26	60	2	0.033
28	60	2	0.033
$\sum d_i$		28	
$\sum d_i/N_i$		0.707	
$\sum_{i=1}^n d_i$			
$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}$		39.589	

Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata NSPT adalah 39.5. Sesuai dengan Tabel 2. 6, klasifikasi tanah dengan rata-rata NSPT diantara 15 dan 50 adalah *stiff soil* atau tanah sedang.

## 2. Nilai $S_s$ dan $S_1$

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  didapatkan pada Peta Hazard Gempa 2010 dengan periode ulang 1000 dan 2475 tahun. Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  untuk gempa 950 dan 2475 tahun dapat dilihat pada tabel berikut.



Tabel 4. 9 Nilai  $S_s$  dan  $S_1$ 

Gempa Periode Ulang	$S_s$	$S_1$
950 tahun	0.5	0.25
2475 tahun	0.7	0.25

### 3. Nilai Niai $F_a$ dan $F_v$

Nilai  $F_a$  ditentukan melalui Tabel 2. 7 berdasarkan nilai  $S_s$  dengan cara interpolasi. Sedangkan nilai  $F_v$  ditentukan melalui Tabel 2. 8 berdasarkan nilai  $S_1$ . Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  untuk gempa 950 dan 2475 tahun disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 10 Nilai  $F_a$  dan  $F_v$ 

Gempa Periode Ulang	$F_a$	$F_v$
950 tahun	1.40	1.90
2475 tahun	1.24	1.80

### 4. Menentukan SMS dan $SM_1$

Persamaan 2.9 dan 2.10 berturut turut menunjukkan perhitungan nilai  $SM_s$  dan  $SM_1$ . Hasil perhitungan SMS dan  $SM_1$  disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 11 Nilai  $SM_s$  dan  $SM_1$ 

Gempa Periode Ulang	$SMS = F_a S_s$	$SM_1 = F_v s_1$
950 tahun	0.700	0.475
2475 tahun	0.868	0.540

### 5. Menentukan Nilai $SD_s$ dan $SD_1$

Perbedaan antara perhitungan gempa menurut RSNI 2833-201X dan ASCE 7-05 adalah pada perhitungan  $SD_s$  dan  $SD_1$ . Nilai  $SD_s$  dan  $SD_1$  yang dihitung berdasarkan ASCE 7-05 seperti yang dtunjukkan pada persamaan 2.11 dan 2.12, besarnya 2/3 kali nilai  $SD_s$  dan  $SD_1$  yang dihitung berdasarkan SNI 2833-201X. Nilai  $SD_s$  dan  $SM_1$  untuk gempa 950 dan 2475 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 12 Nilai  $SD_S$  dan  $SD_1$ 

Gempa Periode Ulang	RSNI 2833-201X		ASCE 7-05	
	SDS	SD1	$SDS = \frac{2}{3}SMS$	$SD1 = \frac{2}{3}SD1$
950 tahun	0.700	0.475	0.467	0.317
2475 tahun	0.868	0.540	0.579	0.360

#### 6. Grafik Respons Spektrum

Kurva respons spektrum direncanakan sesuai Gambar 2. 10 dan Persamaan 2.13, 2.14 dan 2.15. Tabel berikut menunjukkan perhitungan nilai  $T_0$  dan  $T_s$ .

Tabel 4. 13 Nilai  $T_0$  dan  $T_s$ 

Parameter	RSNI 2833-201X		ASCE 7-05	
	950	2475	950	2475
$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS}$	0.136	0.124	0.136	0.124
$T_s = \frac{SD_1}{SDS}$	0.679	0.622	0.679	0.622

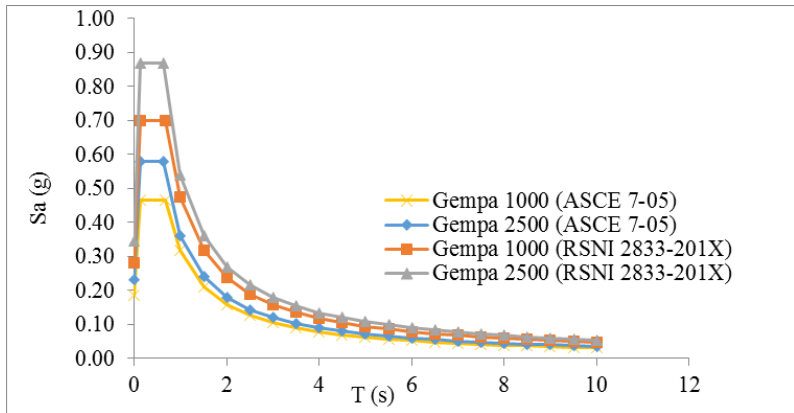
Nilai  $S_a$  berbeda tiap rentang periode tertentu. Untuk  $T < T_0$ , nilai  $S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$ . Untuk  $T \geq T_0$  sampai dengan Untuk  $T < T_s$ , nilai  $S_a$  adalah sama dengan nilai  $SDS$ . Sementara untuk  $T > T_s$ ,  $S_a = \frac{SD_1}{T}$ . Dari persamaan-persamaan ini diperoleh kurva respons spektrum yang merupakan hubungan antara  $S_a$  dan  $T$  seperti yang ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4. 14 Hubungan Periode dan Percepatan Spektra Gempa  
950 Tahun

T (s)	Sa (g)	
	ASCE 7-05	RSNI 2833-201X
0.00	0.19	0.28
0.12	0.47	0.70
0.62	0.47	0.70
1.00	0.32	0.48
1.50	0.21	0.32
2.00	0.16	0.24
2.50	0.13	0.19
3.00	0.11	0.16
3.50	0.09	0.14
4.00	0.08	0.12
4.50	0.07	0.11
5.00	0.06	0.10
5.50	0.06	0.09
6.00	0.05	0.08
6.50	0.05	0.07
7.00	0.05	0.07
7.50	0.04	0.06
8.00	0.04	0.06
8.50	0.04	0.06
9.00	0.04	0.05
9.50	0.03	0.05
10.00	0.03	0.05

Tabel 4. 15 Hubungan Periode dan Percepatan Spektra Gempa  
2475 Tahun

T (s)	Sa (g)	
	ASCE 7-05	RSNI 2833-201X
0.00	0.23	0.35
0.15	0.58	0.87
0.73	0.58	0.87
1.00	0.36	0.54
1.50	0.24	0.36
2.00	0.18	0.27
2.50	0.14	0.22
3.00	0.12	0.18
3.50	0.10	0.15
4.00	0.09	0.14
4.50	0.08	0.12
5.00	0.07	0.11
5.50	0.07	0.10
6.00	0.06	0.09
6.50	0.06	0.08
7.00	0.05	0.08
7.50	0.05	0.07
8.00	0.05	0.07
8.50	0.04	0.06
9.00	0.04	0.06
9.50	0.04	0.06
10.00	0.04	0.05



Gambar 4. 10 Kurva Respons Spektrum

#### 4.3.4 Massa Seismik

Massa seismik ini diinputkan pada SAP2000 melalui *mass source*. Berdasarkan ASCE 61-14, besaran massa terdiri dari berat sendiri struktur, fix crane dan 10% beban hidup merata sehingga pada box multiplier pada *mass source* diisikan 1 untuk *Loading Crane*, 1 untuk *Static Crane* dan 0,1 untuk UDL.

#### 4.4 Analisis Kapasitas dengan *Nonlinear Static Pushover Analysis*

Analisis kapasitas dilakukan dengan *Nonlinear Static Pushover Analysis*. Fitur ini tersedia pada SAP2000. Berikut poin-poin yang menjelaskan analisis *Nonlinear Static Pushover Analysis*.

##### 4.4.1 Batas Regangan

Berdasarkan sambungan ujung atas tiang yang merupakan sambungan *full-moment*, diketahui tipe sambungan tersebut adalah *embedded*. Sesuai Tabel 2. 10, batas tegangan yang berlaku pada sendi plastis di sambungan tersebut adalah sama dengan batas regangan untuk sendi plastis yang tertanam dalam tanah. Menurut Tabel 2. 3, Tabel 2. 4 dan Tabel 2. 5 diketahui

masing-masing batas regangan pada tiang baja untuk sendi plastis ujung tiang dan sendi plastis yang tertanam dalam tanah adalah sebagai berikut.

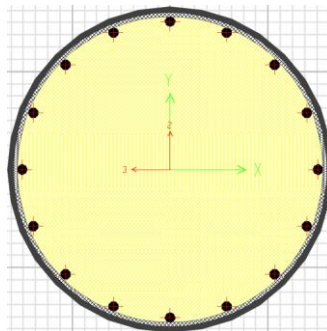
Tabel 4. 16 Nilai Batas Regangan

Level Kinerja	Letak Sendi Plastis	
	Ujung Tiang	Tertanam Dalam Tanah
Minimal Damage	$\epsilon_s < 0.010$	$\epsilon_s < 0.010$
Controlled and Repairable Damage	$\epsilon_s < 0.035$	$\epsilon_s < 0.025$
Life Safety Protection	$\epsilon_s < 0.050$	$\epsilon_s < 0.035$

#### 4.4.2 Momen Kurvatur

Hubungan momen dan kurvatur didapatkan dari analisis *cross section*. SAP2000 menyediakan fitur *section designer* untuk mendesain penampang dan menganalisis momen kurvturnya. Momen kurvatur diperlukan untuk pendefinisian sendi plastis. Oleh karena itu, analisis *cross section* dilakukan pada penampang dimana sendi plastis dimodelkan. Sendi plastis didefinisikan pada ujung atas tiang serta pada tiang pancang yang tertanam dalam tanah dimana momen maksimum terjadi.

Analisis *cross section* ini dilakukan pada penampang tiang baja yang berisi isian tiang pancang. Untuk mendapatkan momen kurvatur, penampang dibebani dengan variasi gaya aksial, baik tekan maupun tarik. Penyederhanaan momen kurvatur yang dipakai adalah Metode B, sesuai dengan Tabel 2. 10, untuk tipe sambungan *embedded*. Dari hasil analisis tersebut, diketahui nilai kurvatur masimum ( $\phi_u$ ), saat leleh ( $\phi_y$ ), dan pada saat nilai regangan tertentu ( $\phi_m$ ). Nilai kurvatur ini disesuaikan dengan batas regangan pada Tabel 4. 16. Perlu diperhatikan bahwa ASCE 61-14 membatasi regangan maksimum untuk beton sebesar 0.025.



Gambar 4. 11 Tipikal *Cross Section* Tiang Pancang

$\phi_{pm}$  dibutuhkan untuk menentukan sendi plastis. Nilai dari  $\phi_{pm}$  adalah hasil pengurangan  $\phi_u$  dan  $\phi_m$  terhadap  $\phi_y$  seperti yang dijelaskan pada Gambar 2. 3.  $\phi_{pm}$  dihitung pada  $\phi_u$  dan tiap  $\phi_m$ . Berikut ditunjukkan hasil output SAP2000 dan hasil perhitungan  $\phi_{pm}$ .

Tabel 4. 17 Nilai Momen Kurvatur Tiang Tertanam Dalam Tanah D800mm

Beban Aksial (ton)	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\phi_m$ (rad/m), $\epsilon_s =$			$\phi_{pm}$ (rad/m), $\epsilon_s =$			
			0.010	0.025	0.035	$\phi_u$	0.010	0.025	0.035
-500	0.357	0.008	0.017	0.042	0.060	0.349	0.008	0.034	0.052
-250	0.380	0.005	0.019	0.055	0.083	0.375	0.014	0.050	0.078
-200	0.413	0.005	0.022	0.060	0.086	0.409	0.017	0.055	0.081
-150	0.433	0.005	0.023	0.061	0.087	0.429	0.018	0.056	0.082
-100	0.433	0.004	0.024	0.062	0.087	0.429	0.019	0.058	0.083
-50	0.433	0.004	0.025	0.063	0.088	0.429	0.021	0.059	0.084
0	0.433	0.004	0.026	0.064	0.089	0.429	0.022	0.060	0.085
50	0.433	0.004	0.026	0.065	0.090	0.429	0.023	0.061	0.086
100	0.433	0.004	0.027	0.065	0.091	0.429	0.024	0.062	0.087
150	0.433	0.003	0.028	0.066	0.091	0.430	0.025	0.063	0.088
200	0.413	0.003	0.029	0.067	0.092	0.410	0.026	0.064	0.089
250	0.380	0.003	0.042	0.070	0.094	0.377	0.039	0.067	0.091

Tabel 4. 18 Nilai Momen Kurvatur Tiang Tertanam Dalam Tanah D1000mm

Beban Aksial (kip)	$\varphi_u$ (rad/m)	$\varphi_y$ (rad/m)	$\varphi_m$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			$\varphi_{pm}$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			
			0.010	0.025	0.035	$\varphi_u$	0.010	0.025	0.035
-1000	0.329	0.005	0.014	0.035	0.048	0.324	0.009	0.030	0.043
-500	0.345	0.004	0.018	0.048	0.069	0.341	0.014	0.044	0.065
-400	0.345	0.004	0.018	0.048	0.069	0.342	0.014	0.045	0.065
-300	0.345	0.004	0.019	0.049	0.069	0.342	0.015	0.046	0.066
-200	0.345	0.003	0.019	0.050	0.070	0.342	0.016	0.046	0.066
-100	0.345	0.003	0.020	0.050	0.070	0.342	0.017	0.047	0.067
0	0.345	0.003	0.020	0.051	0.071	0.342	0.017	0.048	0.068
100	0.345	0.003	0.021	0.051	0.071	0.342	0.018	0.048	0.068
200	0.345	0.003	0.021	0.052	0.072	0.342	0.018	0.049	0.069
300	0.345	0.003	0.022	0.052	0.072	0.342	0.019	0.050	0.070
400	0.345	0.003	0.023	0.053	0.073	0.343	0.020	0.050	0.070
500	0.345	0.002	0.023	0.053	0.074	0.343	0.021	0.051	0.071

Tabel 4. 19 Nilai Momen Kurvatur Ujung Tiang Atas D800mm

Beban Aksial (kip)	$\varphi_u$ (rad/m)	$\varphi_y$ (rad/m)	$\varphi_m$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			$\varphi_{pm}$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			
			0.010	0.035	0.050	$\varphi_u$	0.010	0.035	0.050
-1000	0.094	0.006	0.020	0.063	0.090	0.088	0.014	0.057	0.084
-500	0.102	0.006	0.019	0.061	0.087	0.096	0.013	0.055	0.081
-400	0.106	0.006	0.019	0.061	0.086	0.100	0.012	0.054	0.080
-300	0.106	0.006	0.018	0.060	0.085	0.100	0.012	0.054	0.079
-200	0.110	0.006	0.018	0.059	0.084	0.104	0.012	0.053	0.078
-100	0.114	0.006	0.018	0.059	0.084	0.108	0.012	0.053	0.078
0	0.118	0.006	0.018	0.058	0.083	0.112	0.011	0.052	0.077
100	0.118	0.006	0.018	0.058	0.083	0.112	0.011	0.052	0.077
200	0.122	0.006	0.018	0.057	0.082	0.116	0.011	0.051	0.076
300	0.122	0.006	0.017	0.057	0.081	0.116	0.011	0.051	0.075
400	0.126	0.006	0.017	0.056	0.080	0.120	0.011	0.050	0.074
500	0.130	0.006	0.017	0.056	0.080	0.124	0.011	0.050	0.074

Tabel 4. 20 Nilai Momen Kurvatur Ujung Tiang Atas D1000mm

Beban Aksial (kip)	$\varphi_u$ (rad/m)	$\varphi_y$ (rad/m)	$\varphi_m$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			$\varphi_{pm}$ (rad/m), $\varepsilon_s =$			
			0.010	0.035	0.050	$\varphi_u$	0.010	0.035	0.050
-1000	0.083	0.005	0.015	0.048	0.069	0.078	0.010	0.043	0.064
-500	0.091	0.005	0.014	0.047	0.067	0.085	0.009	0.042	0.062
-400	0.094	0.005	0.014	0.047	0.067	0.089	0.009	0.042	0.061
-300	0.094	0.005	0.014	0.046	0.066	0.089	0.009	0.041	0.061
-200	0.098	0.005	0.014	0.046	0.066	0.093	0.009	0.041	0.061
-100	0.098	0.005	0.014	0.046	0.065	0.093	0.009	0.041	0.060
0	0.098	0.005	0.014	0.046	0.065	0.094	0.009	0.041	0.060
100	0.102	0.005	0.014	0.045	0.065	0.098	0.009	0.040	0.060
200	0.102	0.005	0.014	0.045	0.064	0.098	0.009	0.040	0.059
300	0.106	0.005	0.014	0.044	0.064	0.102	0.009	0.040	0.059
400	0.110	0.005	0.013	0.044	0.063	0.106	0.009	0.040	0.059
500	0.110	0.005	0.013	0.044	0.063	0.106	0.009	0.039	0.058



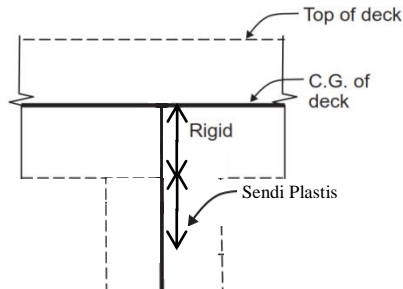
### 4.4.3 Sendi Plastis

#### 4.4.3.1 Letak Sendi Plastis

Menurut ASCE 61-14 sendi plastis terjadi pada dua lokasi yakni ujung atas tiang dan tiang yang tertanam dalam tanah.

##### 1. Sendi Plastis Ujung Atas Tiang

Sendi plastis ujung atas tiang dimodelkan menurut ketentuan pada ASCE 61-14 untuk tipe sambungan *embedded* seperti gambar berikut. Elemen rigid di Modelkan dengan menggunakan fitur *Body Constrain* pada SAP2000.

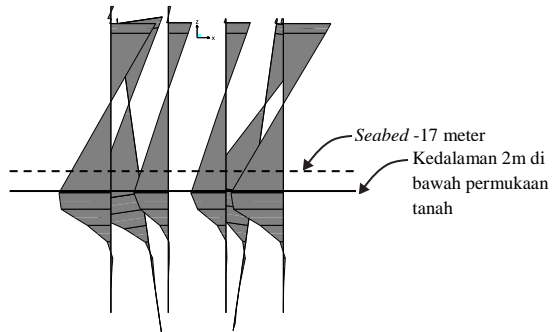


Gambar 4. 12 Letak Sendi Plastis Ujung Atas Tiang

##### 2. Sendi Plastis Tertanam dalam Tanah

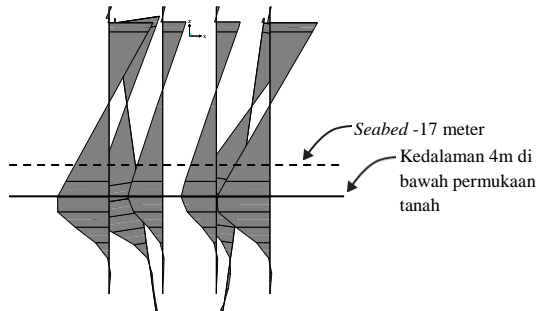
Sendi plastis pada tiang yang tertanam dalam tanah harus dimodelkan pada elemen tiang dimana momen maksimum terjadi saat struktur diberi beban lateral. Dari hasil analisis yang dilakukan, diketahui bahwa letak sendi plastis berbeda antara tanah dengan spring *upper-bound* dan spring *lower-bound*

- *upper-bound Spring*



Gambar 4. 13 Letak Sendi Plastis Tertanam Dalam Tanah *upper-bound Spring*

- *lower-bound Spring*



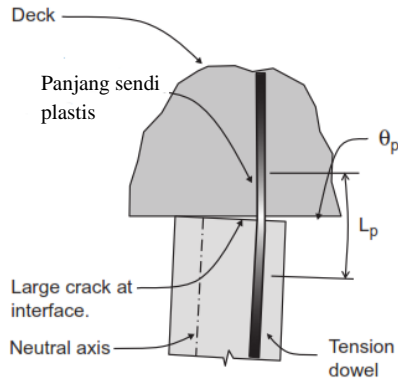
Gambar 4. 14 Letak Sendi Plastis Tertanam Dalam Tanah *lower-bound Spring*

#### 4.4.3.2 Panjang Sendi Plastis

##### 1. Sendi Plastis Ujung Atas Tiang

Gambar berikut menunjukkan tipikal panjang sendi plastis pada ujung atas tiang. Dari Tabel 2. 1 diketahui panjang sendi plastis ( $L_p$ ) ujung atas tiang untuk tipe sambungan *embedded* adalah setengah kali nilai diameter tiang. Disisi lain pada Gambar

4. 12, terdapat pemodelan elemen rigid sehingga pemodelan panjang sendi plastis bernilai setengah dari  $L_p$ . Dengan demikian diketahui panjang sendi plastis ujung tiang dengan diameter 0.8m adalah  $0.5 \times 0.8 \times 0.5 = 0.2\text{m}$  dan untuk tiang dengan diameter 1m adalah  $0.5 \times 1 \times 0.5 = 0.25\text{m}$



Gambar 4. 15 Panjang dan Rotasi Sendi Plastis  
(Sumber: ASCE 61-14)

## 2. Sendi Plastis Tertanam Dalam Tanah

Diketahui dari Tabel 2. 1 bahwa panjang sendi plastis ( $L_p$ ) yang tertanam dalam tanah adalah dua kali nilai diameter tiang. Input dalam SAP2000 disesuaikan dengan elemen tiang pancang dalam tanah yang dibagi per dua meter untuk kebutuhan pemodelan daya dukung tanah. Sehingga karena tiang pancang terbagi menjadi elemen-elemen, sendi plastis dimodelkan pada momen maksimum yakni pada satu titik diantara elemen-elemen tiang pancang tersebut, panjang sendi plastis tertanam dalam tanah bernilai setengah dari  $L_p$ . Dengan demikian diketahui panjang sendi plastis tertanam dalam tanah adalah  $2 \times 0.8 \times 0.5 = 0.8\text{m}$  untuk tiang dengan diameter 0.8m dan untuk tiang dengan diameter 1m adalah  $2 \times 1 \times 0.5 = 1\text{m}$ .

#### 4.4.4 Analisis *Nonlinear Static Pushover*

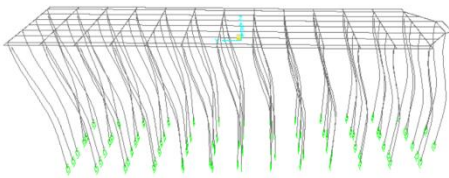
##### 4.4.4.1 Kondisi Awal

Kondisi awal pembebanan saat terjadi gempa mengacu pada Persamaan 2.6. Perlu diperhatikan bahwa tipe analisis yang digunakan adalah nonlinier.

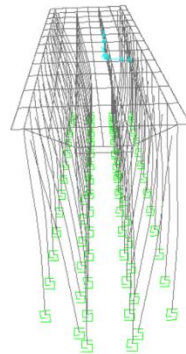
##### 4.4.4.2 *Load Case*

*Load Case* atau beban saat analisis pushover dimodelkan menyerupai beban yang terjadi saat gempa. Pada Tugas Akhir ini digunakan *Model* beban *Accel* dan *Mode* pada arah transversal dan longitudinal dengan proporsi beban 100% dan 30%. Beban *Accel* didefinisikan sebagai beban yang sebanding dengan distribusi massa dalam arah yang dikehendaki. Sedangkan beban *Mode* didefinisikan sebagai pendistribusian beban sesuai *Mode shape*.

Beban *Accel* diterapkan pada arah transversal dan longitudinal. Sedangkan beban *Mode* mengikuti *mode shape* hasil analisis modal. Dari hasil analisis ini diketahui bahwa *Deformed shape* dari *Mode 1* dominan pada arah longitudinal dan *Mode 2* pada arah transversal. Gambar berikut menunjukkan deformasi struktur untuk *Mode 1* dan 2.



Gambar 4. 16 *Mode 1*



Gambar 4. 17 *Mode 2*

Perlu diperhatikan bahwa tipe beban yang digunakan adalah statik sedangkan tipe analisisnya adalah nonlinier.

#### 4.4.4.3 Efek P-delta

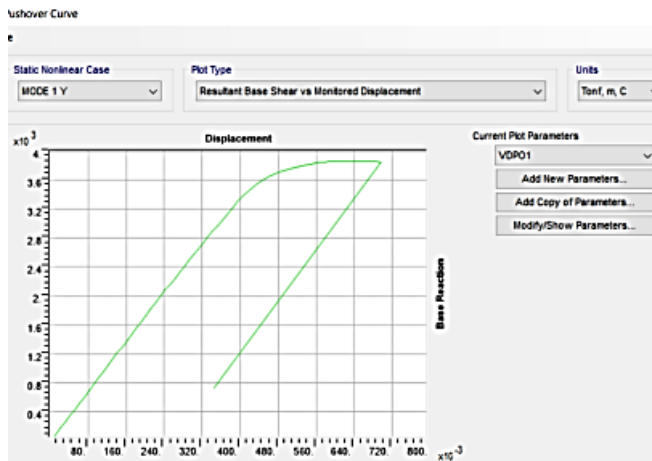
Efek P-delta menjadi opsi saat melakukan analisis pushover. SAP2000 menghitung secara otomatis efek P-delta pada struktur.

#### 4.4.4.4 Titik Kontrol

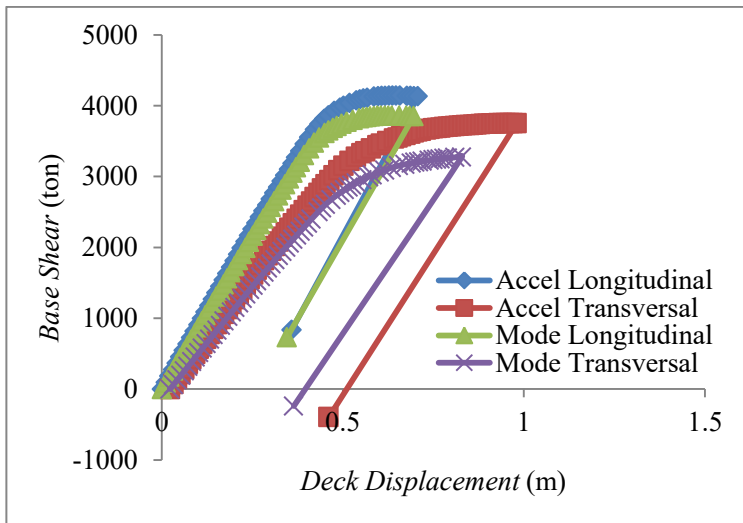
Titik kontrol perpindahan ditetapkan di pusat massa struktur pada dek dermaga. Pusat massa dapat diketahui dari tabel output *Assembled Joint Masses*.

#### 4.4.4.5 Kurva Kapasitas

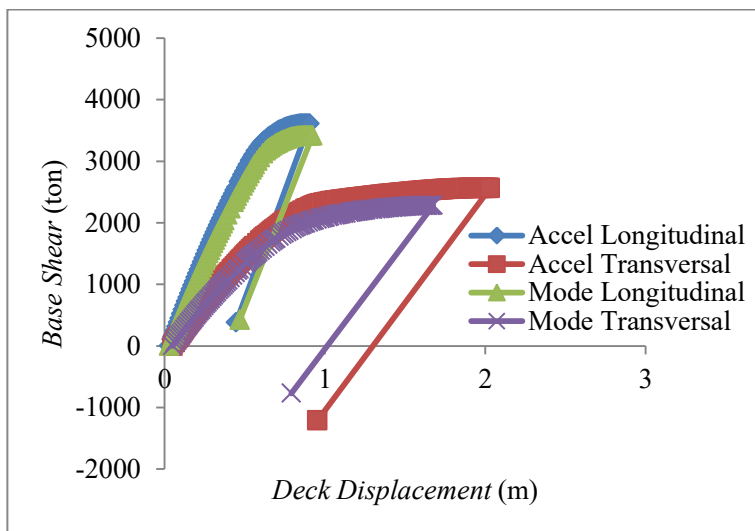
Dari hasil analisis pushover didapatkan kurva kapasitas struktur dermaga. Kurva ini menunjukkan fungsi *deck displacement* dermaga terhadap *base shear*. Berikut kurva kapasitas struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound*.



Gambar 4. 18 Contoh Output Kurva Kapasitas SAP2000 untuk Arah Beban Longitudinal dengan Spring *upper-bound*



Gambar 4. 19 Kurva Kapasitas dengan Spring *upper-bound*



Gambar 4. 20 Kurva Kapasitas dengan Spring *lower-bound*

Hasil analisis *Nonlinear Static Pushover* juga menghasilkan kapasitas perpindahan struktur tiap level kinerja yang dikehendaki. Berikut tabel yang menunjukkan *displacement capacity* tiap level kinerja.

Tabel 4. 21 *Displacement capacity* dengan Spring *upper-bound* dalam meter

Tipe Beban	Elastis		Minimal Damage		Controlled and Repairable Damage		Life Safety Protection		Collapse	
	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)
<i>Accel Long.</i>	3269	0.372	3662	0.423	4088	0.547	4140	0.627	4132	0.708
<i>Accel Transv.</i>	2949	0.463	3534	0.641	3716	0.820	3745	0.900	3753	0.980
<i>Mode Long.</i>	3131	0.372	3477	0.421	3823	0.546	3858	0.626	3851	0.695
<i>Mode Transv.</i>	2503	0.432	3019	0.582	3216	0.720	3260	0.789	3276	0.829

Tabel 4. 22 *Displacement capacity* dengan Spring *lower-bound* dalam meter

Tipe Beban	Elastis		Minimal Damage		Controlled and Repairable Damage		Life Safety Protection		Collapse	
	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)	Base Shear (ton)	Perpindahan Dek (m)
<i>Accel Long.</i>	2472	0.4265	3274	0.6003	3576	0.7838	3609	0.8737	3608	0.9047
<i>Accel Transv.</i>	1617	0.5597	2129	0.8146	2435	1.3000	2535	1.6934	2561	2.0292
<i>Mode Long.</i>	2433	0.4509	3064	0.5959	3365	0.7624	3417	0.8624	3416	0.9234
<i>Mode Transv.</i>	1365	0.5125	1829	0.7473	2163	1.1514	2262	1.5004	2281	1.6753

#### 4.5 Analisis Demand dengan *Nonlinear Static Demand*

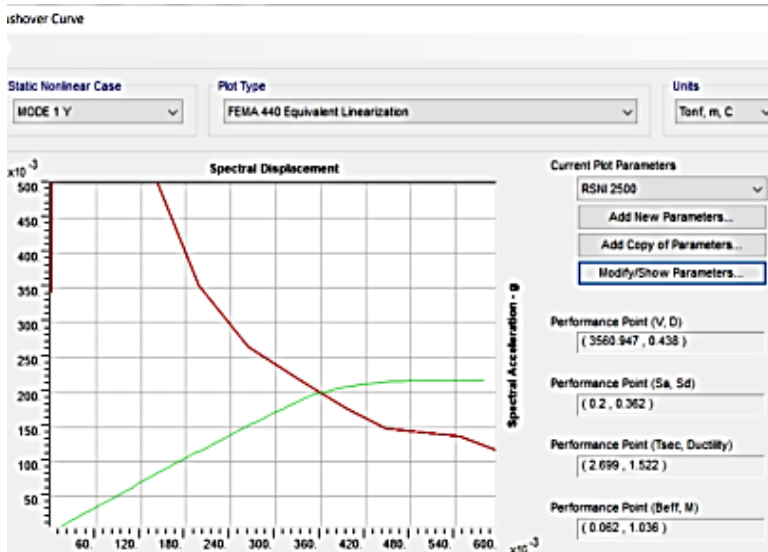
Untuk mengetahui level kinerja struktur, dilakukan analisis analisis demand dengan *Nonlinear Static Demand*. Pada analisis ini elemen frame ujung tiang dimodelkan dengan *user-defined section* seperti pada Gambar 4. 11 untuk menyertakan sifat kenonlinier penampang, seperti Inersia dan Modulus Efektif.

Analisis *Nonlinear Static Demand* dilakukan menurut FEMA 440 *Equivalent Linearization Method*. Metode ini telah tersedia di SAP2000. Sehingga dengan mengiputkan beban gempa dan melakukan analisis *Nonlinear Static Pushover* yang menghasilkan kurva kapasitas, dapat diperoleh *displacement demand* pada saat terjadi gempa.

Hasil *displacement demand* yang diperoleh diplot dengan *displacement capacity* yang diperoleh dari analisis *Nonlinear Static Pushover*. Dari hasil plotting ini dapat diketahui kinerja struktur dermaga.

Analisis demand dilakukan dengan kurva kapasitas struktur dengan tipe beban *Mode*. Hal ini disebabkan karena dari kurva kapasitas dengan tipe beban *Accel* dan *Mode*, tipe beban *Mode* lah yang memberi kurva kapasitas paling kritis.

Dalam analisis demand berdasarkan FEMA 440 *Equivalent Linearization*, kurva kapasitas dikonversi kedalam format fungsi  $S_a$  terhadap  $S_d$  seperti yang dijelaskan pada 2.6.2. Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai prosedur konversi ini dapat dilihat pada dokumen FEMA 440. Gambar berikut menunjukkan contoh output analisis demand.



Gambar 4. 21 Contoh Output Analisis Demand berdasarkan FEMA 440 Equivalent Linearization Output SAP2000 untuk Arah Beban Longitudinal dengan Spring *upper-bound*



Dari gambar hasil output tersebut dapat diketahui Sa dan Sd demand yang merupakan perpotongan antara grafik kurva kapasitas yang telah dikonversi, dengan kurva respons spektrum. Sa dan Sd demand kemudian dikonversi kembali menjadi nilai *base shear* dan *displacement demand*. Berikut disajikan tabel yang menunjukkan nilai *base shear* dan *deck displacement* dermaga terhadap masing-masing beban gempa.

Tabel 4. 23 *Base Shear dan Displacement Demand dengan Spring upper-bound*

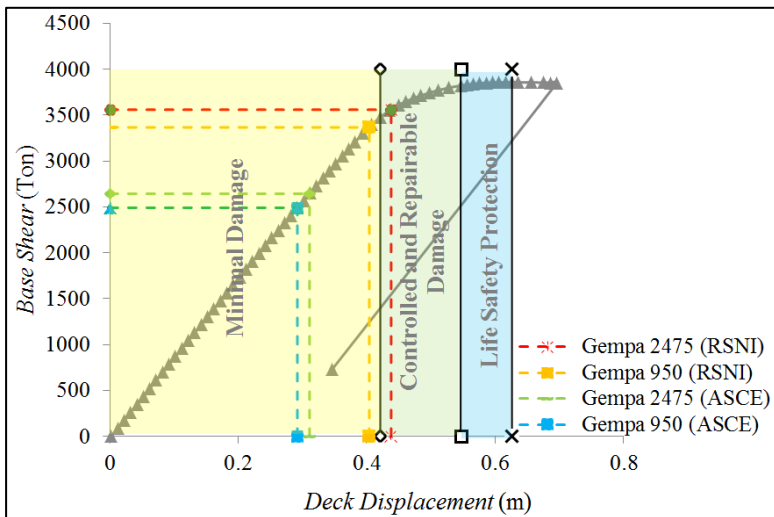
Beban Gempa	Arah Beban	Base Shear (ton)	Deck Displacement (m)
ASCE 7-05 950	Longitudinal	2492	0.292
	Transversal	1959	0.336
ASCE 7-05 2475	Longitudinal	2645	0.311
	Transversal	2060	0.354
RSNI 2833-201X 950	Longitudinal	3368	0.404
	Transversal	2586	0.449
RSNI 2833-201X 2475	Longitudinal	3560	0.438
	Transversal	2716	0.478

Tabel 4. 24 *Base Shear dan Displacement Demand dengan Spring Lower-bound*

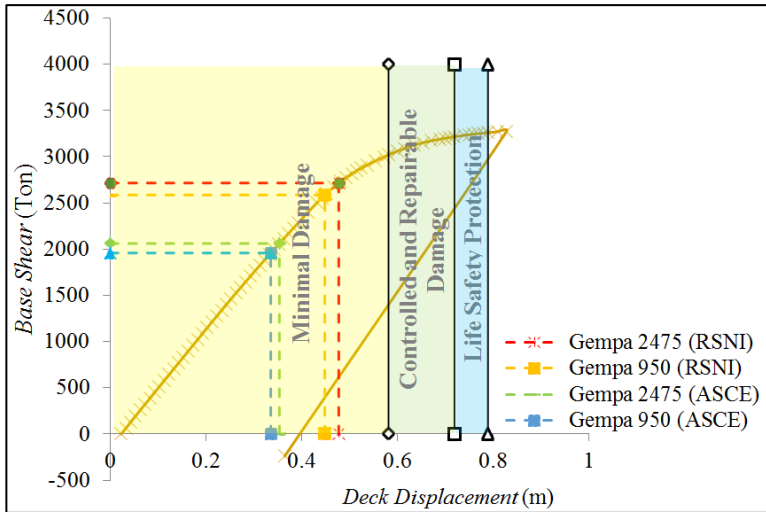
Beban Gempa	Arah Beban	Base Shear (ton)	Deck Displacement (m)
ASCE 7-05 950	Longitudinal	2200	0.405
	Transversal	1364	0.512
ASCE 7-05 2475	Longitudinal	2433	0.451
	Transversal	1485	0.566
RSNI 2833-201X 950	Longitudinal	2992	0.576
	Transversal	1779	0.716
RSNI 2833-201X 2475	Longitudinal	3089	0.604
	Transversal	1876	0.779

#### 4.5.1 Level Kinerja Struktur

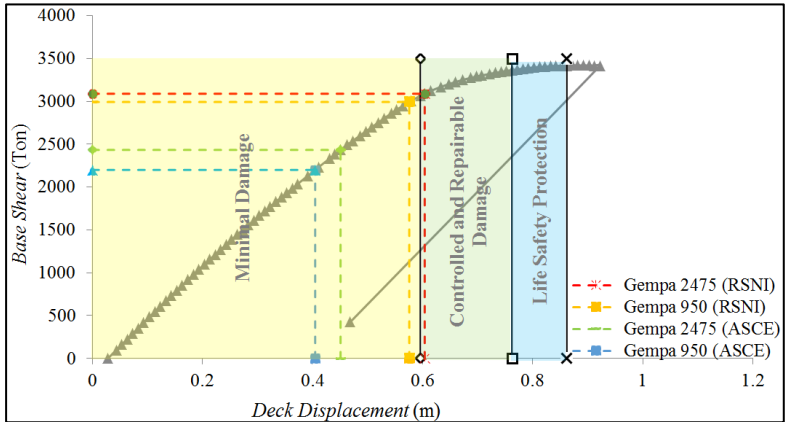
Nilai *displacement demand* yang diperoleh dari analisis demand kemudian dibandingkan dengan nilai pada Tabel 4. 21 dan Tabel 4. 22 atau diplot pada Gambar 4. 19 dan Gambar 4. 20, sehingga dapat diketahui level kinerja struktur. Berikut gambar yang menunjukkan level kinerja struktur terhadap masing-masing beban gempa.



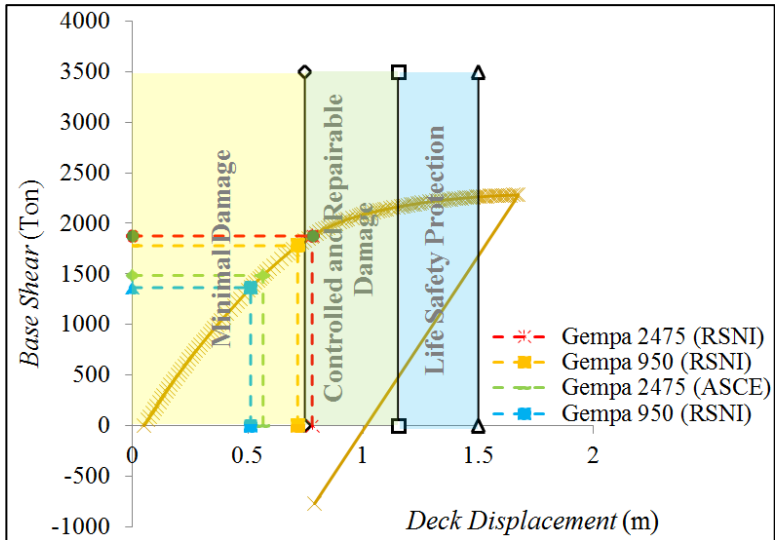
Gambar 4. 22 Level Kinerja Arah Longitudinal dengan Spring *upper-bound*



Gambar 4. 23 Level Kinerja Arah Transversal dengan Spring *upper-bound*



Gambar 4. 24 Level Kinerja Arah Longitudinal dengan Spring *lower-bound*



Gambar 4. 25 Level Kinerja Arah Transversal dengan Spring *lower-bound*

Dari gambar diatas dapat diketahui level kinerja struktur terhadap beban gempa pada arah longitudinal dan transversal dengan spring upper-bound dan lower-bound.

Tabel 4. 25 Level Kinerja Struktur Dermaga Terhadap Beban Gempa Arah Longitudinal dan Transversal

Beban Gempa	Arah Beban	Level Kinerja	
		Spring Upper-Bound	Spring Lower-Bound
ASCE 7-05 950	Longitudinal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
	Transversal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
ASCE 7-05 2475	Longitudinal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
	Transversal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
RSNI 2833-201X 950	Longitudinal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
	Transversal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
RSNI 2833-201X 2475	Longitudinal	<i>Controlled and Repairable Damage</i>	<i>Controlled and Repairable Damage</i>
	Transversal	<i>Minimal Damage</i>	<i>Controlled and Repairable Damage</i>

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa level kinerja struktur secara keseluruhan adalah level kinerja terkritik struktur dari level pada arah longitudinal dan transversal. Berikut tabel kinerja struktur secara keseluruhan.

Tabel 4. 26 Level Kinerja Struktur Dermaga

Beban Gempa	Level Kinerja	
	Spring Upper-Bound	Spring Lower-Bound
ASCE 7-05 950	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
ASCE 7-05 2475	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
RSNI 2833-201X 950	<i>Minimal Damage</i>	<i>Minimal Damage</i>
RSNI 2833-201X 2475	<i>Controlled and Repairable Damage</i>	<i>Controlled and Repairable Damage</i>

#### 4.5.4 Kontrol Batas Regangan

Untuk memverifikasi level kinerja yang diperoleh dari analisis demand, dilakukan perhitungan regangan pada sendi plastis saat gempa terjadi. Regangan tersebut kemudian dibandingkan dengan regangan persyaratan masing-masing level kinerja yang dijelaskan pada 4.4.1. Namun, hasil output analisis demand pada SAP2000 tidak menunjukkan nilai regangan. Hasil outut tersebut hanya menunjukkan rotasi sendi plastis saja. Oleh

karena itu diperlukan perhitungan lebih lanjut untuk mengetahui regangan yang terjadi pada sendi plastis tersebut. Persamaan 2.6 serta parameter-parameter yang didapatkan dari analisis *cross section* digunakan untuk mencari nilai regangan dari nilai rotasi sendi plastis.

Kontrol regangan dilakukan terhadap gempa 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X. Berikut disajikan nilai rotasi dan hasil perhitungan regangan pada sendi plastis terhadap beban gempa tersebut selain itu juga ditunjukkan contoh output sendi plastis pada SAP2000.



Gambar 4. 26 Contoh Output Rotasi Plastis SAP2000 untuk Arah Beban Transversal dengan Spring *upper-bound*

Tabel 4. 27 Regangan Terjadi dengan Spring *upper-bound*

Dalam Arah	Sendi Plastis Kritis	Gaya Aksial (ton)	Rotasi (rad)	$\phi_y$ (rad/m)	Panjang sendi plastis (m)	$\phi_m$ (rad/m)	$\epsilon_s$ (m/m)	Level Kinerja
Long.	Ujung Tiang	30	0.00346	0.00483	0.25	0.0186	0.0141	CRD <sup>a</sup>
Transv.	Tertanam	-194	0.00525	0.00365	1.00	0.0088	0.0051	MD <sup>b</sup>

CRD<sup>a</sup>: Controlled and Repairable Damage MD<sup>b</sup>: Minimal Damage

Tabel 4. 28 Regangan Terjadi dengan Spring *lower-bound*

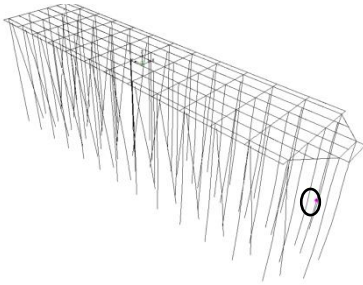
Dalam Arah	Sendi Plastis Kritis	Gaya Aksial (ton)	Rotasi (rad)	$\phi_y$ (rad/m)	Panjang sendi plastis (m)	$\phi_m$ (rad/m)	$\epsilon_s$ (m/m)	Level Kinerja
Long.	Ujung Tiang	-187.5	0.00304	0.00508	0.25	0.0172	0.0124	CRD <sup>a</sup>
Transv.	Tertanam	-188.5	0.01890	0.00363	1.00	0.0225	0.0122	CRD <sup>a</sup>

Nilai level kinerja yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan . Dari hasil tersebut diketahui bahwa terhadap beban gempa yang sama, level kinerja yang dihasilkan dari kontrol regangan sama dengan level kinerja yang dihasilkan analisis demand.

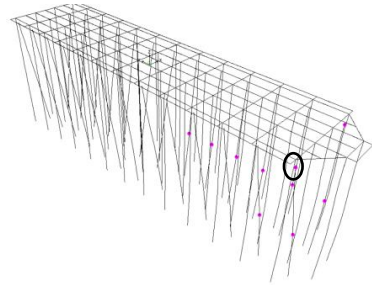
#### 4.5.4 Pola Keruntuhan

Dari analisis kapasitas diketahui bahwa pola beban yang memberikan pengaruh kritis pada struktur adalah *Mode*. Selain itu diketahui juga bahwa daktilitas struktur dalam arah longitudinal lebih kecil dibanding daktilitas struktur dalam arah transversal. Kontrol regangan juga menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada sendi plastis saat diberi beban gempa arah longitudinal lebih besar dari pada saat diberi beban gempa arah transversal. Berdasarkan hal ini, diambil kesimpulan bahwa pola keruntuhan ditentukan oleh pola pembebanan *Mode* arah Logitudinal.

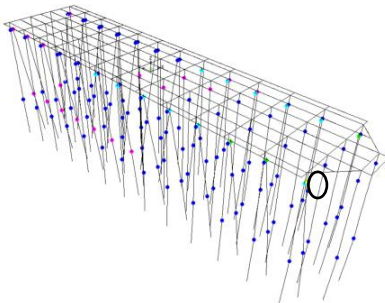
Dari analisis kapasitas dapat diketahui pola keruntuhan struktur dermaga. Berikut ditunjukkan pola keruntuhan dengan pembebanan *Mode* arah longitudinal dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound*.



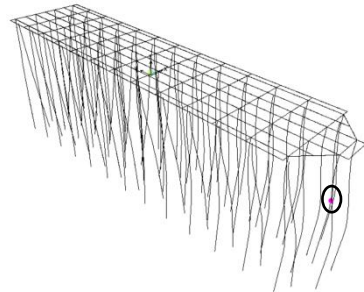
Gambar 4. 27 Leleh Pertama  
Tiang Tertanam dengan Spring  
*lower-bound*



Gambar 4. 28 Leleh Pertama  
Ujung Tiang dengan Spring  
*lower-bound*

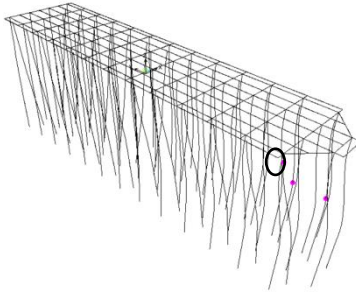


Gambar 4. 29 *Collapse* dengan  
Spring *lower-bound*

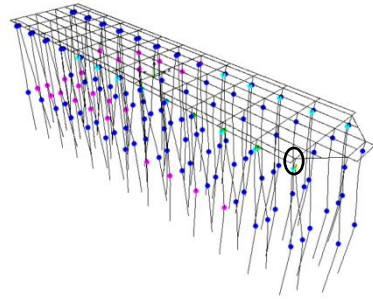


Gambar 4. 30 Leleh Pertama  
Tiang Tertanam dengan  
Spring *upper-bound*



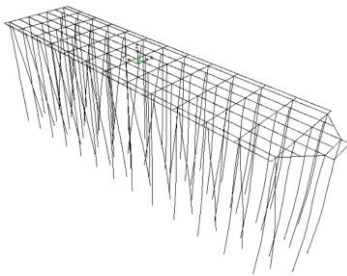


Gambar 4. 31 Leleh Pertama  
Ujung Tiang dengan Spring  
*upper-bound*

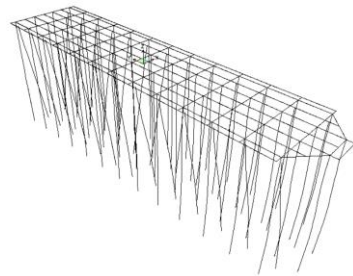


Gambar 4. 32 *Collapse* dengan  
Spring *upper-bound*

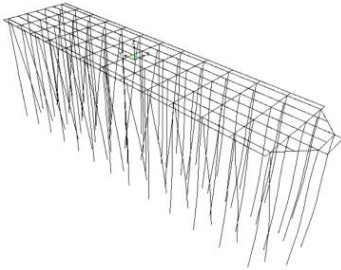
Setelah diketahui pola keruntuhan struktur dermaga dan dilakukan analisis demand, dapat diketahui keruntuhan struktur terhadap masing-masing beban gempa. Berikut disajikan pula keruntuhan yang terjadi pada dermaga terhadap masing-masing beban gempa.



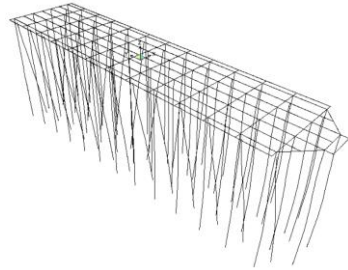
Gambar 4. 33 Keruntuhan  
dengan Spring *upper-bound*  
terhadap gempa 950 (ASCE)



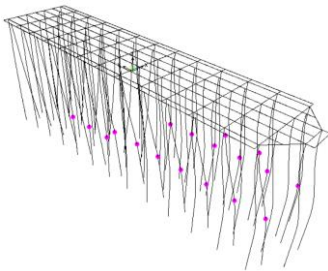
Gambar 4. 34 Keruntuhan  
dengan Spring *lower-bound* di  
bawah gempa 2475 (RSNI)



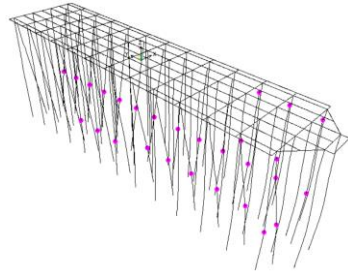
Gambar 4. 35 Keruntuhan dengan Spring *upper-bound* terhadap gempa 2475 (ASCE)



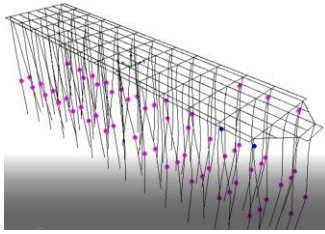
Gambar 4. 36 Keruntuhan dengan Spring *lower-bound* di bawah gempa 2475 (ASCE)



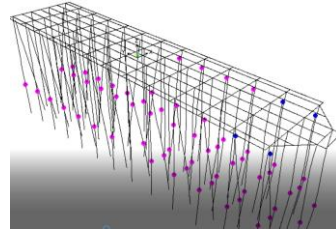
Gambar 4. 37 Keruntuhan dengan Spring *upper-bound* terhadap gempa 950 (RSNI)



Gambar 4. 38 Keruntuhan dengan Spring *lower-bound* di bawah gempa 950 (RSNI)



Gambar 4. 39 Keruntuhan dengan Spring *upper-bound* terhadap gempa 2475 (RSNI)



Gambar 4. 40 Keruntuhan dengan Spring *lower-bound* di bawah gempa 2475 (RSNI)

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa terhadap gempa 950 dan 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan ASCE 7-05, struktur dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* belum mengalami keruntuhan atau dalam kata lain struktur masih dalam keadaan elastis. Terhadap gempa 950 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X, struktur dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* telah mengalami keruntuhan hingga level kinerja *minimal damage* pada tiang tertanam dan ujung tiang. Sedangkan terhadap gempa 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X, struktur dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* telah mengalami keruntuhan hingga level kinerja *minimal damage* pada tiang tertanam dan level *controlled and repairable damage* pada ujung tiang.

#### 4.5.5 Kontrol Level Kinerja Minimum

Level kinerja struktur yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan persyaratan minimum level kinerja pada ASCE 61-14 yang ditunjukkan pada Tabel 2. 2. Gempa 950 dan 2475 tahun termasuk kedalam level gempa Design Earthquake (DE) sehingga persyaratan minimum level kinerjanya adalah *Life Safety Protection*.

Analisis demand menunjukkan bahwa perilaku struktur saat diberi beban gempa 950 dan 2475 adalah *Mininal Damage* dan

*Controlled and Repairable Damage* seperti yang dijelaskan pada 4.5.1. Berdasarkan hasil ini diketahui bahwa level kinerja struktur dermaga memenuhi persyaratan level kinerja minimum pada ASCE 61-14.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah menganalisis dan mengevaluasi, sebagaimana yang dijelaskan pada bab 4, penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari analisis *Nonlinear Static Pushover* dan *Nonlinear Static Demand* diketahui bahwa pada kasus ini pembebanan yang memberikan pengaruh paling kritis terhadap struktur adalah tipe beban *Mode* yang bekerja pada arah longitudinal
2. Terhadap gempa 950 dan 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan ASCE 7-05, baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound*, level kinerjanya adalah *Minimal Damage*
3. Terhadap gempa 950 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X, baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound*, level kinerjanya adalah *Minimal Damage*. Sedangkan terhadap gempa 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X, baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound*, level kinerjanya adalah *Controlled and Repairable Damage*
4. Pola keruntuhan pada struktur dermaga adalah kelelahan pada tiang tertanam lalu diikuti kelelahan pada ujung tiang kemudian *collapse* pada ujung tiang.
5. Tidak terjadi keruntuhan pada struktur dermaga terhadap gempa 950 dan 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan ASCE 7-05, baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* yang berarti struktur masih dalam kondisi elastis

6. Keruntuhan terhadap gempa 950 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* adalah kelelahan hingga level kinerja *Minimal Damage* pada tiang tertanam dan kelelahan ujung tiang
7. Keruntuhan terhadap gempa 2475 yang spektrumnya dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X baik untuk struktur dermaga dengan spring *upper-bound* dan *lower-bound* adalah kelelahan hingga level kinerja *Minimal Damage* pada tiang tertanam dan hingga level kinerja *Controlled and Repairable Damage* pada ujung tiang

## **5.2 Saran**

Penulis memiliki saran, bila dimasa depan dilakukan studi lebih lanjut.

1. Beban gempa perlu dicoba dengan time history
2. Pola pembebanan gempa dapat dicoba lebih beragam

## DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Official, 2012, *AASHTO LRFD Bridge Design Specification*. Washington, D.C.
- American Petroleum Institute, 2002, *Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms: Working stress design, in API Recommended Practice RP2A-WSD (RP RP2A-WSD)*, 21st Edition. Washington, D.C.
- American Society of Civil Engineers, 2005, *Minimum Design Load for Building and Other Structure*. Reston, Virginia.
- American Society of Civil Engineers, 2014, *Seismic Design of Wharves and Piers*. Reston, Virginia.
- ATC 40, 1996, *Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, California.
- Badan Standarisasi Nasional 2013 *Desain Gempa Jembatan*
- Bowles, J.E, 1977, *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill, New York.
- Chopra, A.K, 1995, *Dynamic of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, New Jersey
- Computers and Structures Inc, 2016, SAP2000 version 19: CSI Reference Analysis Manual. Berkeley, CA
- Hanifah, Y.N, dkk, 2017, *Seismic Performance Evaluation of A Pile-Supported Wharf in Aceh, Indonesia*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Ginsar, I. M, Benjamin, L, 2007, *Seismic Performance Evaluation of Building with Pushover Analysis. Seminar Material, Desain dan Rekayasa Konstruksi pada Bangunan Tahan Gempa*. Malang.
- Pranata, Y. P, 2006, *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis*. Jurnal Teknik

- Sipil, Vol. 3 , No. 1, Januari 2006. Universitas Kristen Maranatha, Bandung
- Pranata, Y. A, 2008, *Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan dengan Analisis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong*). Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8 , No. 8, Juni 2008
- Supriyadi, B, Muntohar, A.S, 2007, *Jembatan*. Yogyakarta
- Dewobroto, W. 2006, *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000*. Jurnal Teknik Sipil Vol.3 no.1 Januari 2006.



## **LAMPIRAN**

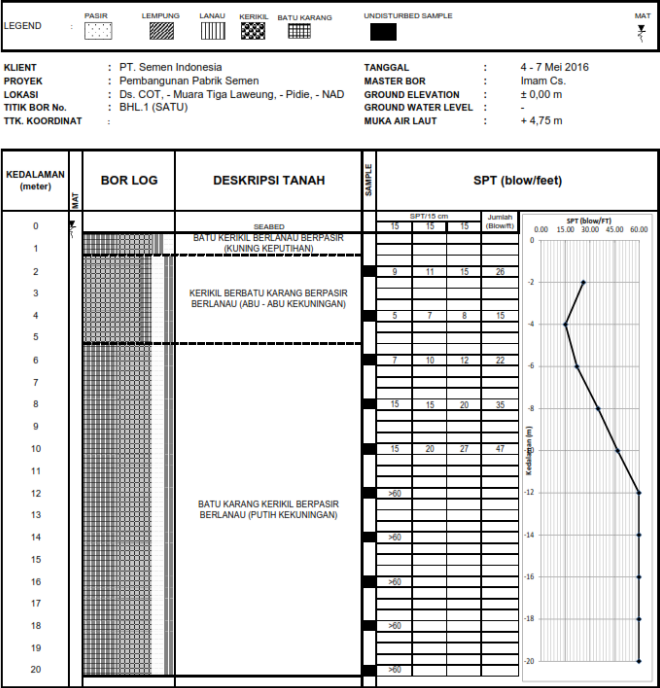
Dengan ini terlampir:

1. Data bor tanah
2. Biodata penulis
3. Data struktur existing (A3)

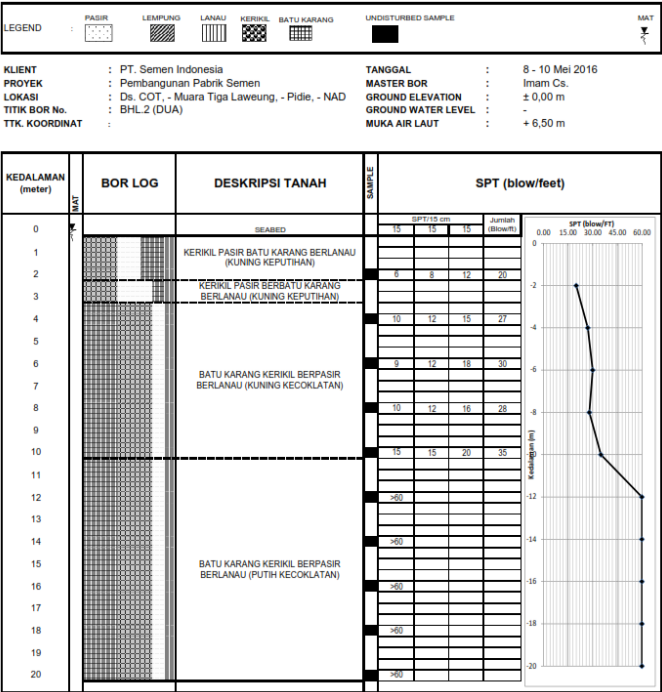
# LAMPIRAN 1

## Data Bor Tanah

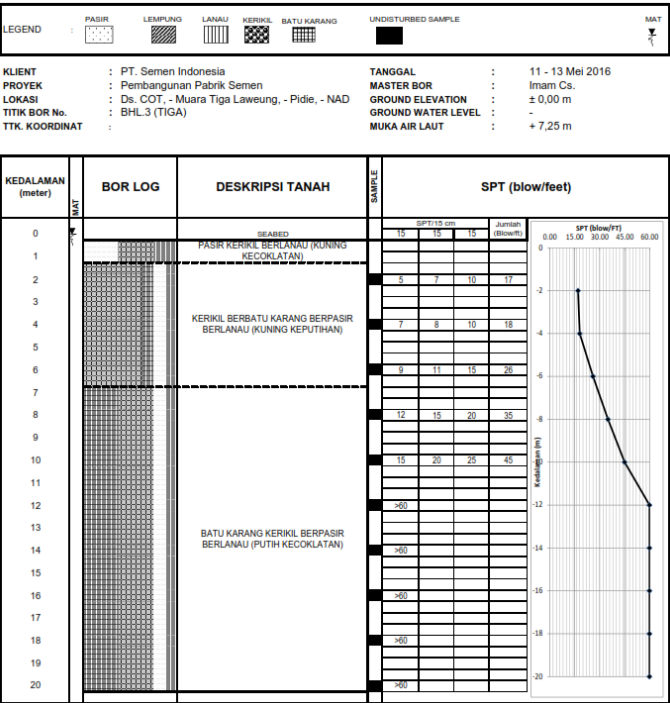
### Titik Bor 1



Titik Bor 2



Titik Bor 3



## **LAMPIRAN 2**

### **BIODATA PENULIS**



Yudnina Nikmatul Hanifah lahir di Surabaya, pada tanggal 13 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDIT Al-Azhaar Gandusari Trenggalek (2002-2008), SMPN 1 Trenggalek (2008-2011) dan MAN 3 Malang (2011-2013). Kemudian pada tahun 2013, penulis melanjutkan studinya di Program Studi Diploma Empat Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis fokus dalam bidang perencanaan struktur dermaga selama masa studinya. Pada tahun 2016 penulis melakukan kerja praktik bersama PT. Rinenggo Ria Raya dalam Proyek Pembangunan Lanjutan Fasilitas Laut Pelabuhan Kendal. Pada tahun 2017, penulis menyusun Tugas Akhir dengan judul “Kinerja Struktur Dermaga Curah Kering Untuk Kapasitas Kapal 40.000 DWT di Pidie, Aceh terhadap Beban Gempa”.

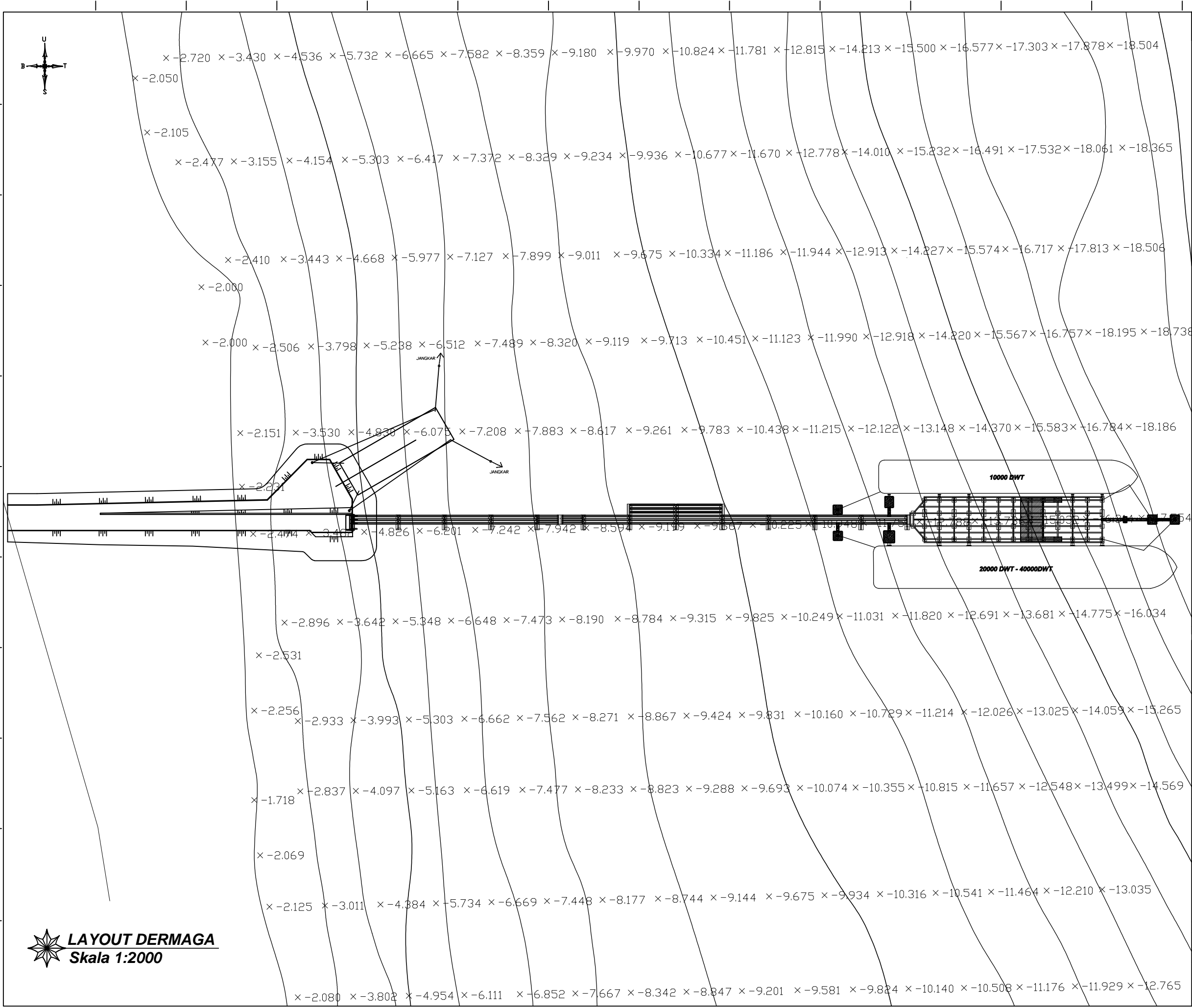
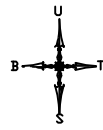
Hormat Penulis,  
Yudnina Nikmatul Hanifah  
082334770209  
yudnina13@mhs.ce.its.ac.id



**LAMPIRAN 3**  
**Data Struktur Existing**

Judul Gambar	Nomor Halaman
Layout Dermaga	1
Denah Jetty	2
Denah Steel Pile Jetty	3
Denah Balok Jetty	4
Denah Pelat Jetty	5
Denah Pilecap Jetty	5
Denah Penulangan Pelat	6
Potongan Memanjang Jetty	7
Potongan Melintang Jetty	8
Penulangan Potongan	9
Detail Penulangan Balok	10
Denah Penulangan dan Detail Pile Cap	11





**LAYOUT DERMAGA**  
**Skala 1:2000**

NOTE

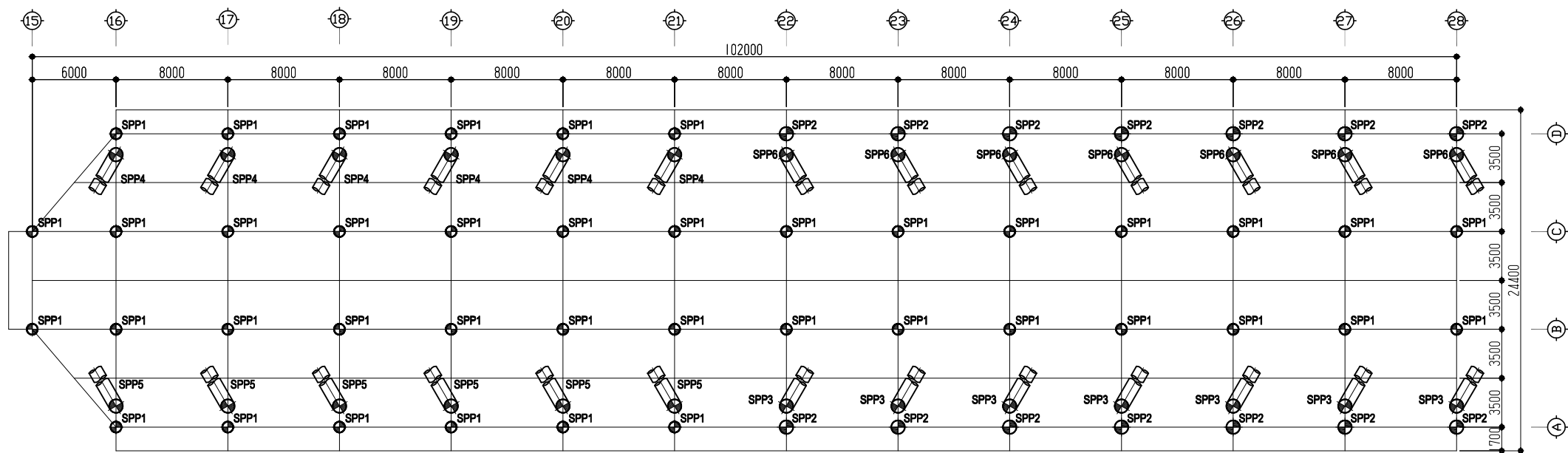
DRAWING NO		TITLE			
REFERENCE DRAWING					
△					
△					
△					
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D
REVISIONS					
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk					
JAWA TIMUR					
INDONESIA					
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL					
DIVISI RANCANG BANGUN					
CONSULTANT :					
DATE					
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO L. MT	Ir. CHOMAEDHI. CES	
SIGN					
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED	
PROJECT :					
PERANCANGAN DERMAGA PIDIE					
ACEH					
TITLE :					
LAYOUT DERMAGA PIDIE - ACEH					
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE
DRAWN			MECH & PRO		
DESIGN			CIV & ARCH		
CHK'D			ELTR & INST		
APP'D			SAFETY		
DWG No.			SHEET		REV.
DWG-PIDIE-SG-001			OF		2



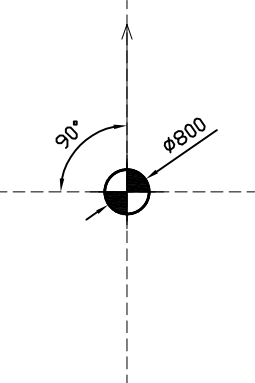
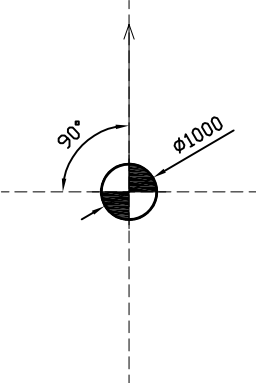
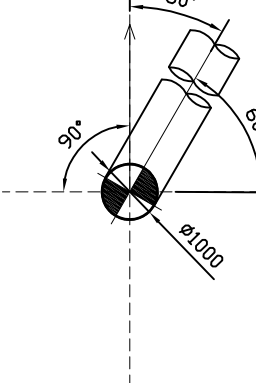
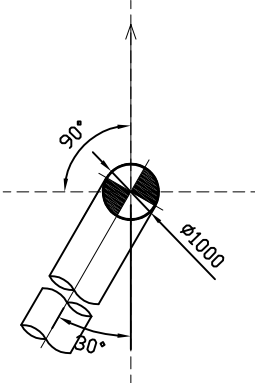
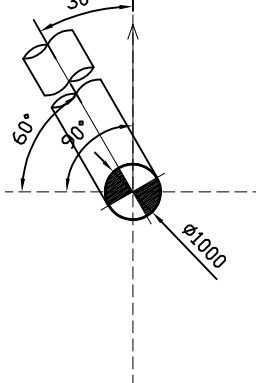
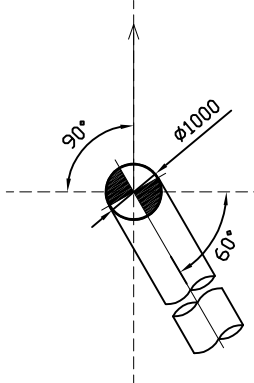
NOTE

DRAWING NO				TITLE																																			
<b>REFERENCE DRAWING</b>																																							
△																																							
△																																							
△																																							
NO	DATE	DESCRIPTION		PRP'D	CHK'D	APP'D																																	
<b>REVISIONS</b>																																							
<div style="text-align: center;">  <p><b>PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk</b> JAWA TIMUR INDONESIA</p> </div>																																							
<b>DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL</b> <b>DIVISI RANCANG BANGUN</b>																																							
CONSULTANT :																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">DATE</td> <td colspan="7"></td> </tr> <tr> <td>NAME</td> <td>AINUL ST</td> <td>Ir. IBNU P. MT</td> <td>Ir. DJOKO I. MT</td> <td colspan="4">Ir. CHOMAEDHI, CES</td> </tr> <tr> <td>SIGN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>DESCRP.</td> <td>DRAWN</td> <td>DESIGN</td> <td>CHECKED</td> <td colspan="4">APPROVED</td> </tr> </table>								DATE								NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO I. MT	Ir. CHOMAEDHI, CES				SIGN								DESCRP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED			
DATE																																							
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO I. MT	Ir. CHOMAEDHI, CES																																			
SIGN																																							
DESCRP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED																																			
<b>PROJECT :</b> <b>PERANCANGAN DERMAGA PIDIE</b> <b>ACEH</b>																																							
<b>TITLE :</b>  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">DENAH JETTY PIDIE</div>																																							
DESCRP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SCALE :																																	
DRAWN			MECH & PRO			1:400																																	
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE																																	
CHK'D			ELTR & INST			A-3																																	
			SAFETY																																				
APP'D			ENG. MGR																																				
DWG No. ....						SHEET OF	REV. <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">2</div>																																
DWG-PIDIE-SG-004																																							





 **DENAH STEEL PILE JETTY**  
Skala 1:400

TIPE TIANG PANCANG	SPP1	SPP2	SPP3	SPP4	SPP5	SPP6
	STEEL PIPE PILE Ø 800 mm	STEEL PIPE PILE Ø 1000 mm	STEEL PIPE PILE Ø 1000 mm	STEEL PIPE PILE Ø 1000 mm	STEEL PIPE PILE Ø 1000 mm	STEEL PIPE PILE Ø 1000 mm
LOKASI	JETTY	JETTY	JETTY	JETTY	JETTY	JETTY
GAMBAR						
TEBAL	16 mm	16 mm	16 mm	16 mm	16 mm	16 mm
KEMIRINGAN	-	-	1:6	1:6	1:6	1:6
PANJANG	36 m	39 m	39 m	39 m	39 m	39 m
JUMLAH	40 Buah	14 Buah	7 Buah	6 Buah	6 Buah	7 Buah

## NOTE

DRAWING NO. TITLE

### REFERENCE DRAWING





NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D

### REVISIONS

 **PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk**  
JAWA TIMUR  
INDONESIA

**DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL**  
**DIVISI RANCANG BANGUN**

CONSULTANT :

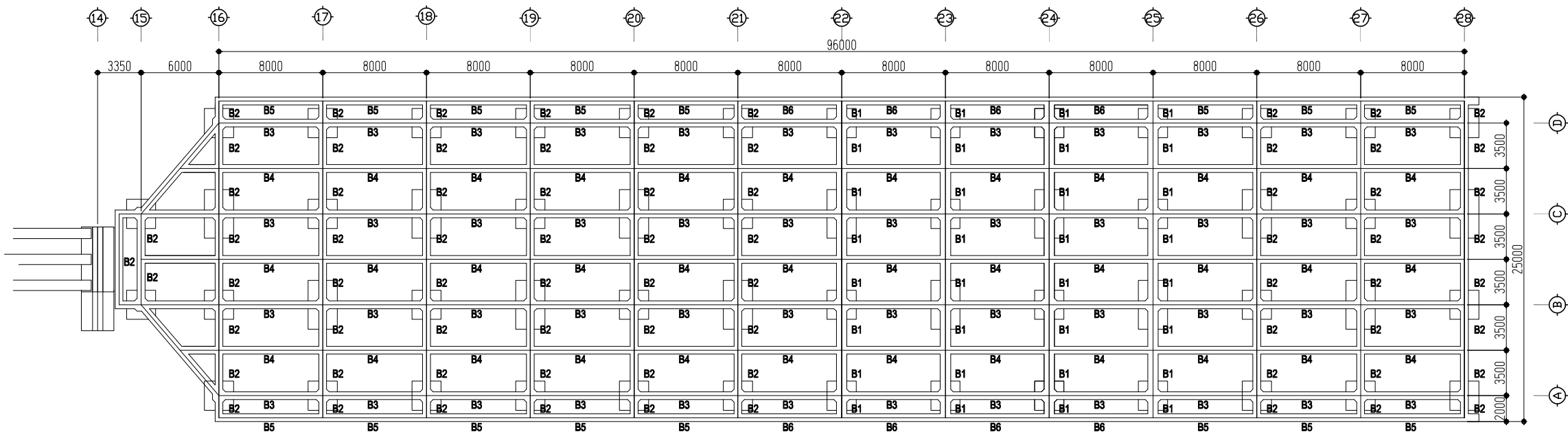
DATE	NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO L. MT	Ir. CHOMAEDHI. CES
	SIGN				
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED	


PROJECT : **PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH**

TITLE : **DENAH STEEL PILE JETTY**

DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SCALE :
DRAWN			MECH & PRO			1:400
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE
CHK'D			ELTR & INST			A-3
APP'D			SAFETY			
			ENG. MGR			





DWG No. **DWG-PIDIE-SG-005** SHEET OF **2**

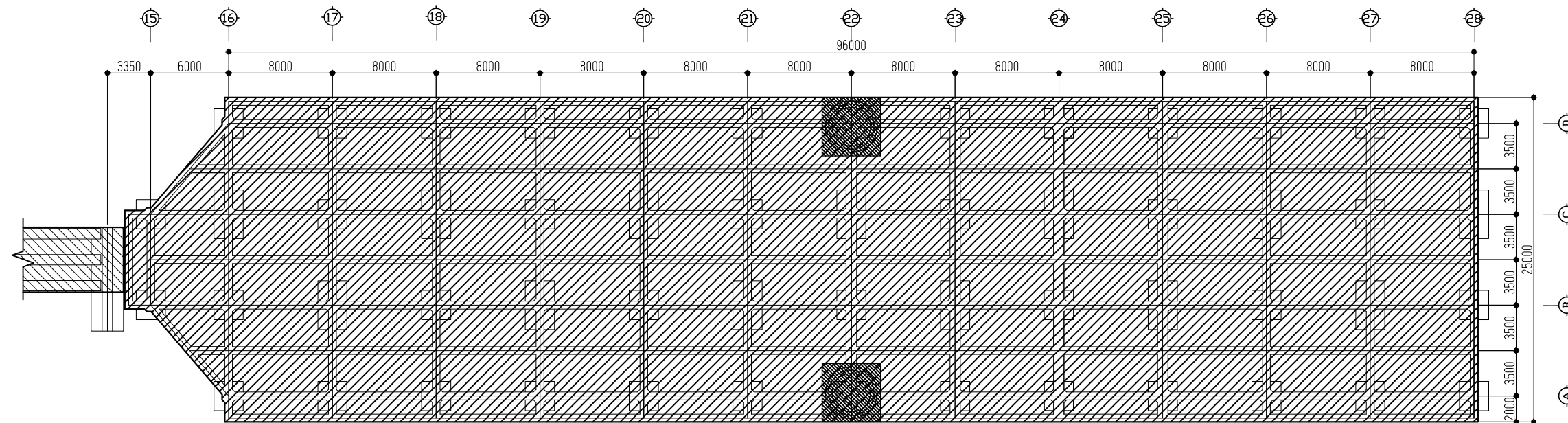



 **DENAH BALOK JETTY**  
Skala 1:400

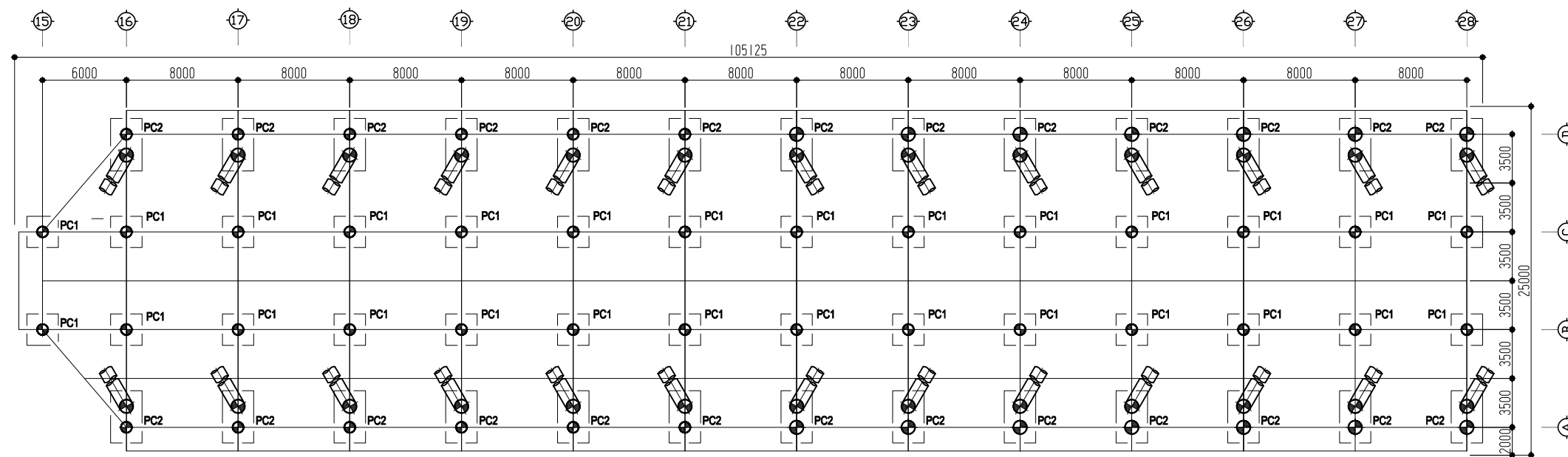
- CATATAN :
1. B1 = BALOK MELINTANG DERMAGA 800x1200
  2. B2 = BALOK MELINTANG DERMAGA 600x1200
  3. B3 = BALOK MEMANJANG DERMAGA 600x1200
  4. B4 = BALOK MEMANJANG DERMAGA 600x1000
  5. B5 = BALOK KANTILEVER LISTPLANK DERMAGA 600x3000
  6. B6 = BALOK KANTILEVER LISTPLANK DERMAGA 600x3000

## NOTE

DRAWING NO		TITLE			
REFERENCE DRAWING					
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D
REVISIONS					
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk JAWA TIMUR INDONESIA					
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL DIVISI RANCANG BANGUN					
CONSULTANT :					
DATE					
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO L. MT	Ir. CHOMAEDHI. CES	
SIGN					
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED	
PROJECT : PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH					
TITLE : DENAH BALOK JETTY					
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE
DRAWN			MECH & PRO		
DESIGN			CIV & ARCH		
CHK'D			ELTR & INST		
APP'D			SAFETY		
DWG No.			SHEET		REV.
DWG-PIDIE-SG-008			OF		2



 **DENAH PELAT JETTY**  
Skala 1:400



 **DENAH PILECAP JETTY**  
Skala 1:400

## NOTE

DRAWING NO	TITLE
------------	-------

### REFERENCE DRAWING





NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D

### REVISIONS



DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL  
DIVISI RANCANG BANGUN

CONSULTANT :

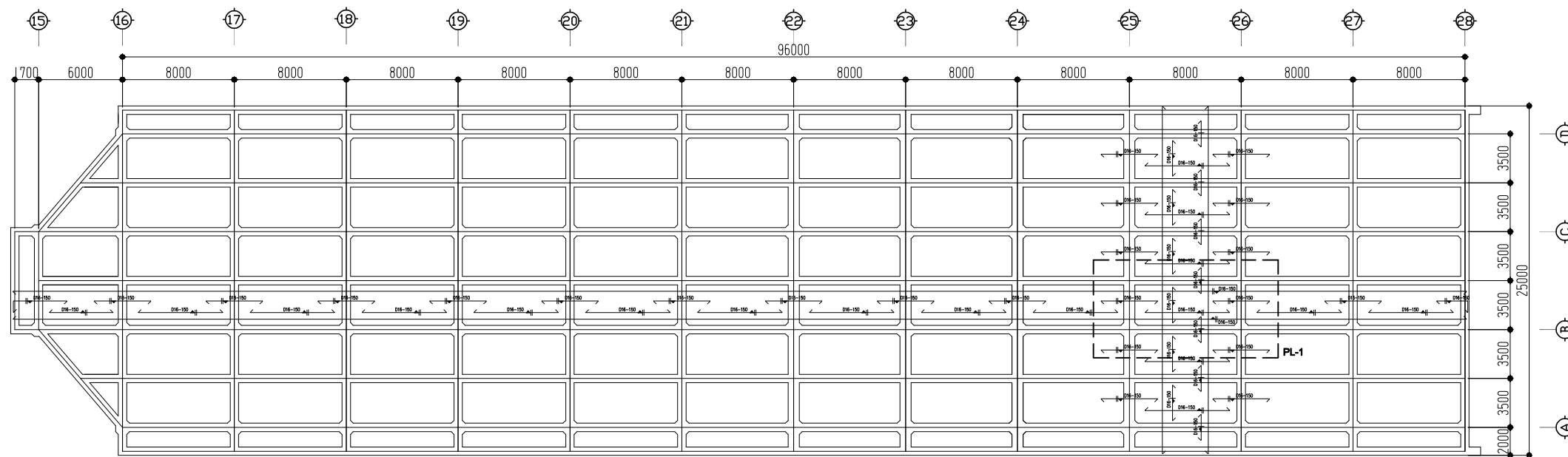
DATE	NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO L. MT	Ir. CHOMAEDHI. CES
	SIGN				
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED	

PROJECT : **PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH**

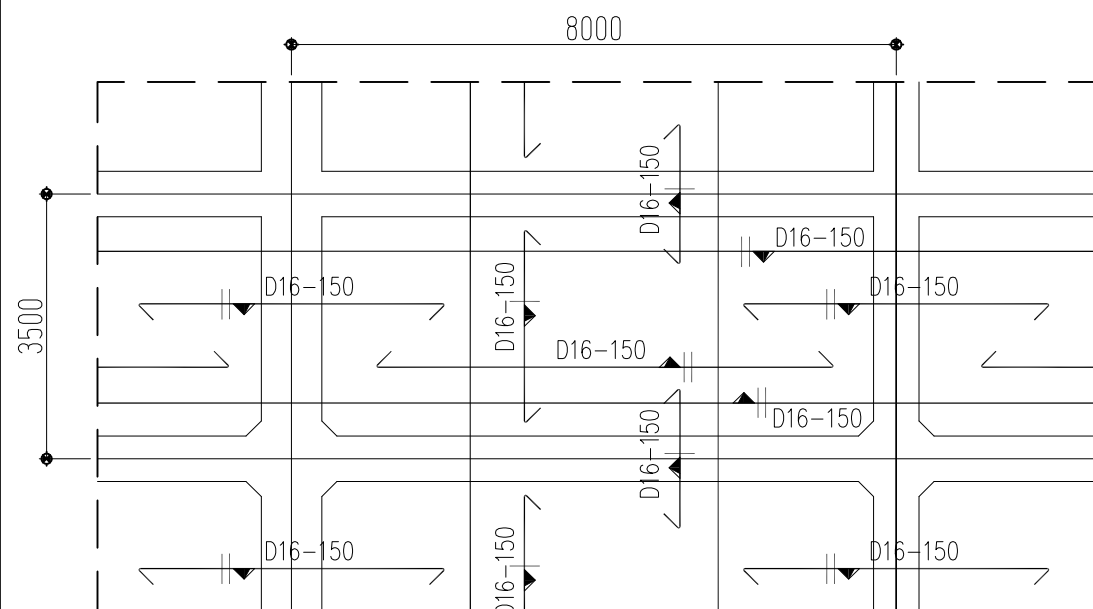
TITLE : **DENAH PELAT JETTY & DENAH PILECAP JETTY**

DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SCALE :
DRAWN			MECH & PRO			1:400
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE
CHK'D			ELTR & INST			A-3
APP'D			SAFETY			
			ENG. MGR			

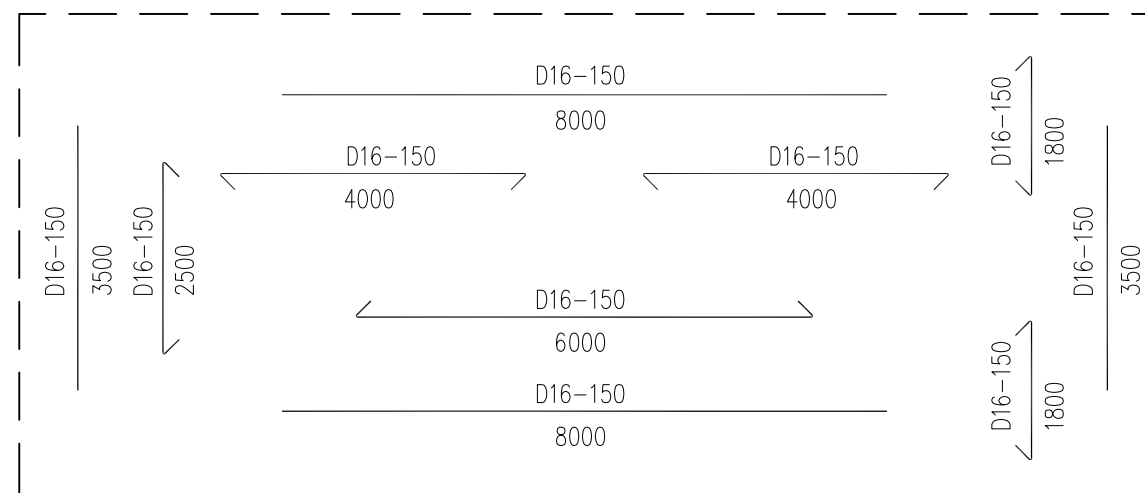
DWG No. **DWG-PIDIE-SG-006** SHEET OF **2**



**DENAH PENULANGAN PLAT**  
Skala 1:400



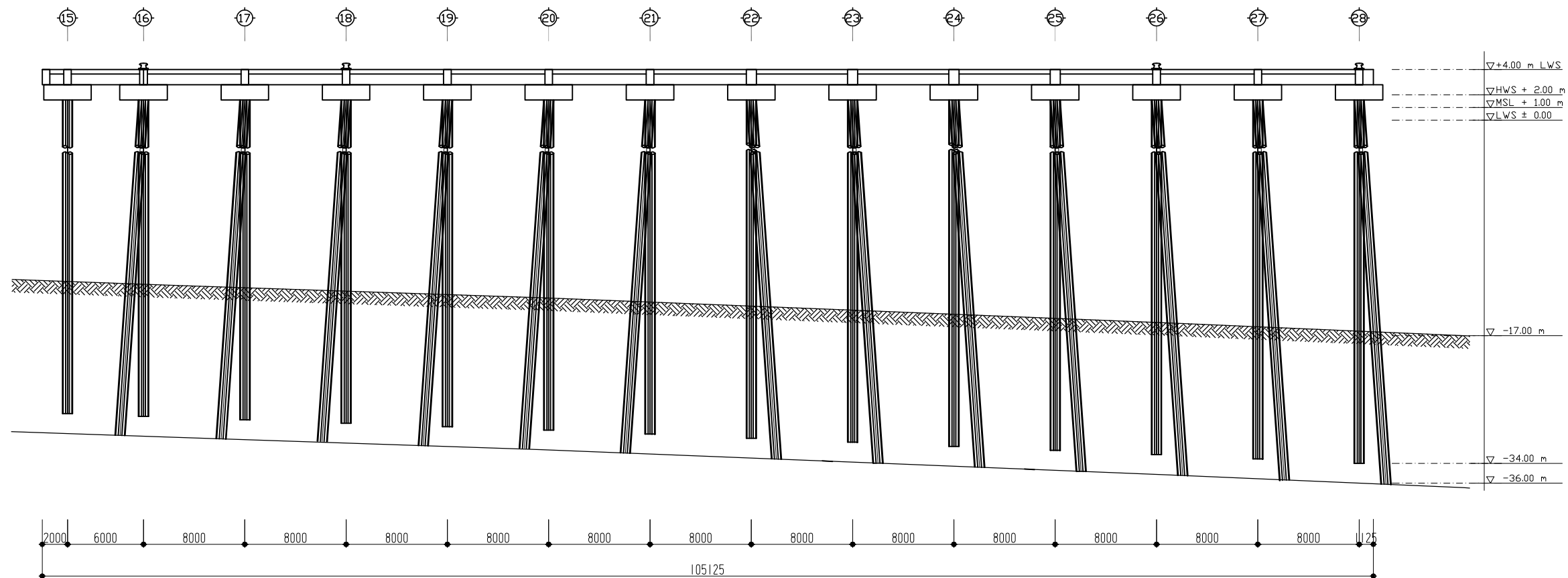
**DETAIL PENULANGAN PL-1**  
Skala 1:100



**BESTAT TULANGAN PL-1**  
Skala 1:100







## NOTE

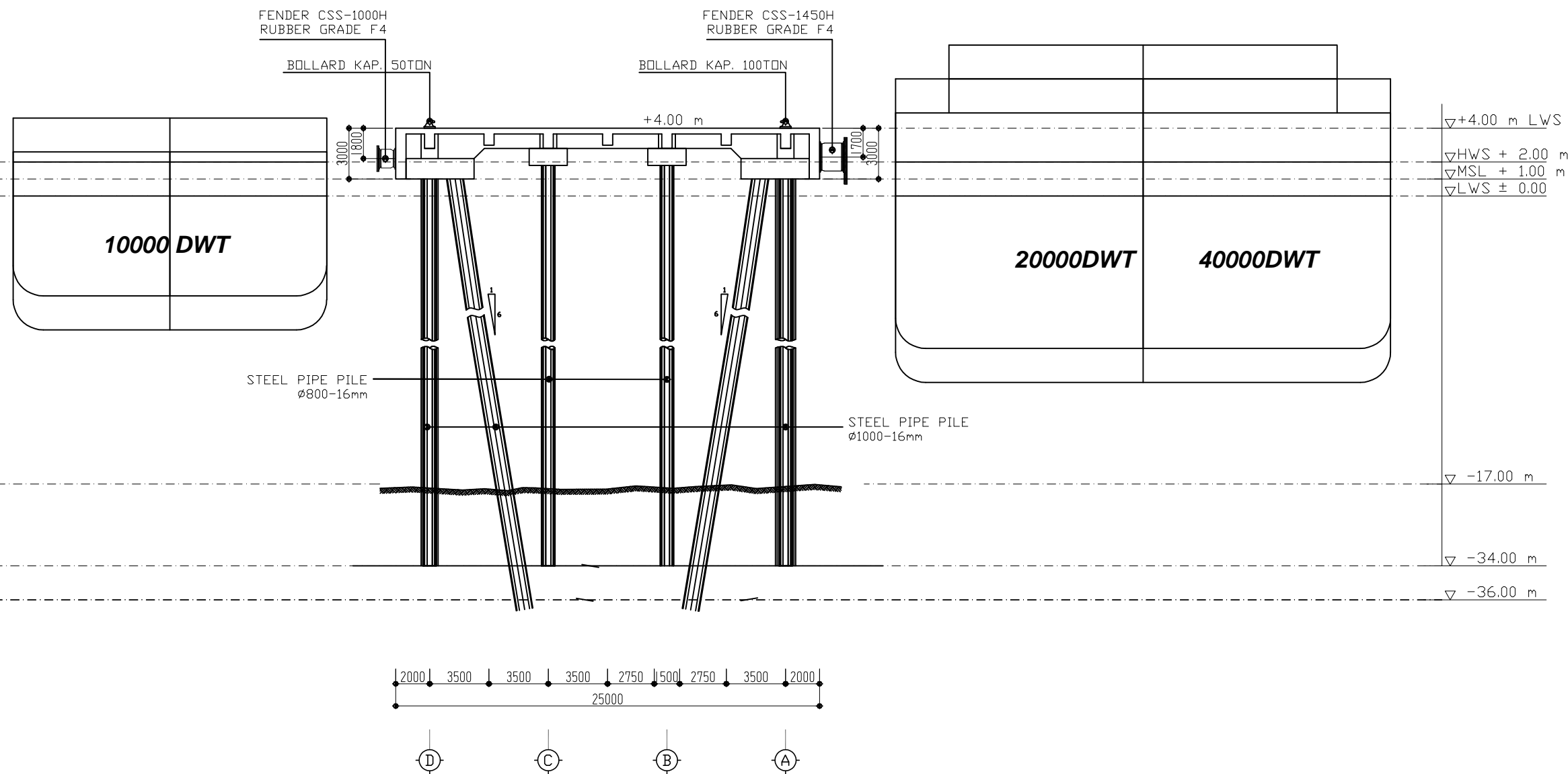
DRAWING NO		TITLE	
REFERENCE DRAWING			
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D   CHK'D   APP'D
REVISIONS			
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk JAWA TIMUR INDONESIA			
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL DIVISI RANCANG BANGUN			
CONSULTANT :			
DATE			
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO I. MT
SIGN			
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED
PROJECT : PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH			
TITLE : DENAH PENULANGAN PLAT DAN DETAIL			
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.
DRAWN			MECH & PRO
DESIGN			CIV & ARCH
CHK'D			ELTR & INST
APP'D			SAFETY
DWG No. DWG-PIDIE-SG-007			SHEET OF 2



 **POTONGAN MEMANJANG JETTYA-A**  
**Skala 1:400**

NOTE

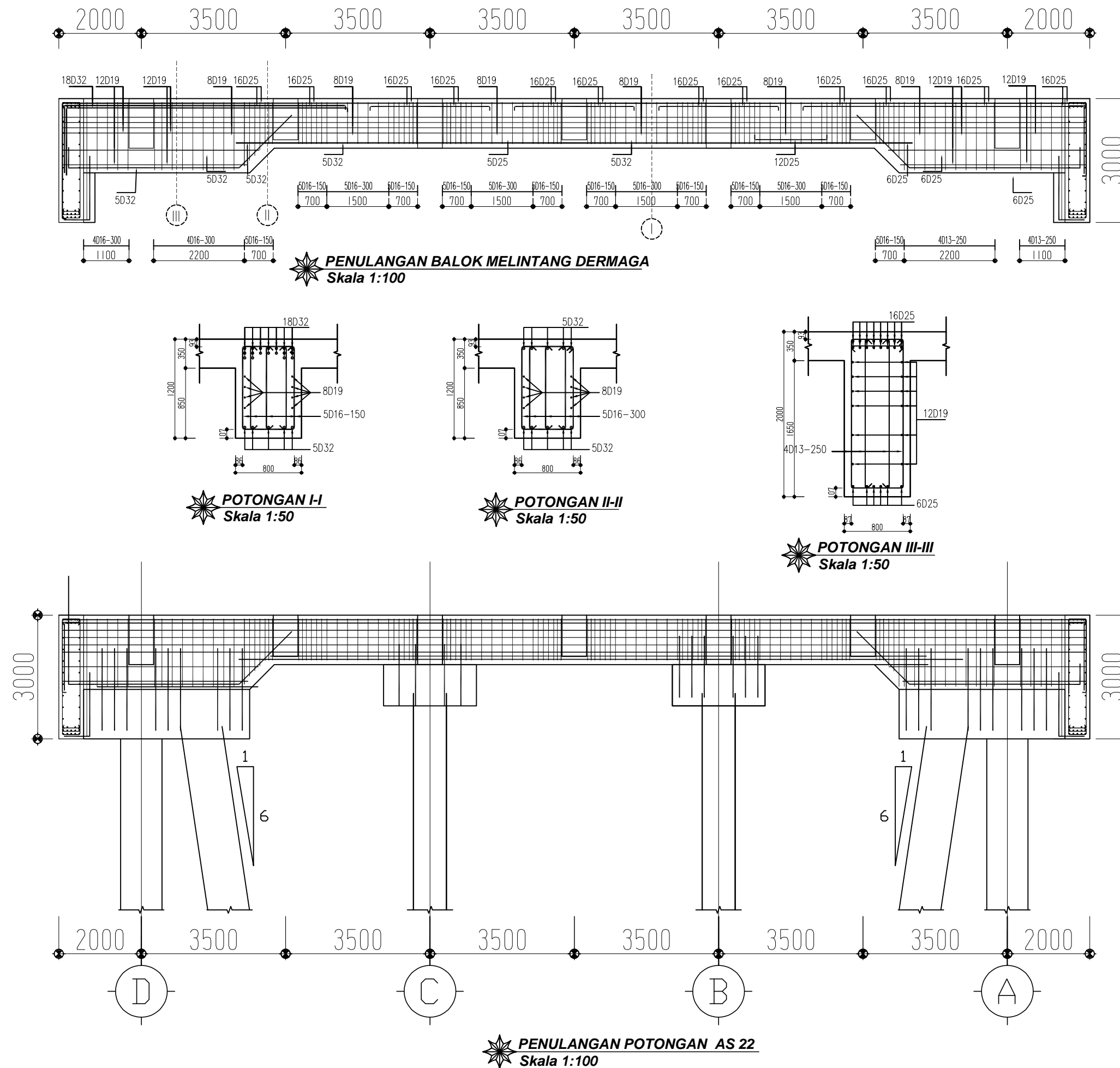
DRAWING NO		TITLE				
REFERENCE DRAWING						
△						
△						
△						
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D	
REVISIONS						
 PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk JAWA TIMUR INDONESIA						
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL DIVISI RANCANG BANGUN						
CONSULTANT :						
DATE						
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO I. MT	Ir. CHOMAEDHI. CES		
SIGN						
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED		
PROJECT : PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH						
TITLE : POTONGAN MEMANJANG JETTY A-A & B-B						
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SCALE :
DRAWN			MECH & PRO			1:400
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE
CHK'D			ELTR & INST			A-3
APP'D			SAFETY			
			ENG. MGR			
DWG No. DWG-PIDIE-SG-010					SHEET OF	REV. 



**POTONGAN MELINTANG JETTY B-B**  
**Skala 1:300**

NOTE

DRAWING NO		TITLE	
REFERENCE DRAWING			
△			
△			
△			
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D   CHK'D   APP'D
REVISIONS			
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk JAWA TIMUR INDONESIA			
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL DIVISI RANCANG BANGUN			
CONSULTANT :			
DATE			
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO I. MT
SIGN			
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED
PROJECT : PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH			
TITLE : POTONGAN MELINTANG D-D (ALTERNATIF 1)			
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.
DRAWN			MECH & PRO
DESIGN			CIV & ARCH
CHK'D			ELTR & INST
APP'D			SAFETY
DWG No. DWG-PIDIE-SG-013			REV. 2



NOTE

NO

DATE

DESCRIPTION

PRP'D

CHK'D

APP'D

REVISIONS

PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk

JAWA TIMUR

INDONESIA

DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL

DIVISI RANCANG BANGUN

CONSULTANT :

DATE

NAME


AINUL ST


Ir. IBNU P. MT


Ir. DUOKO I. MT


Ir. CHOMAEDHI, CES

SIGN









DESCRIP.

DRAWN

DESIGN

CHECKED

APPROVED

PROJECT :

PERANCANGAN DERMAGA PIDIE

ACEH

TITLE :

PENULANGAN BALOK MELINTANG DERMAGA

PENULANGAN POTONGAN AS 22

DESCRIP.

SIGN

DATE

COORD.

SIGN

DATE

SCALE :

DRAWN

MECH & PRO

1:100

DESIGN

CIV & ARCH

SIZE

CHK'D

ELTR & INST

A-3

APP'D

SAFETY

ENG. MGR

DWG No.

SHEET OF

REV. 

2

DWG-PIDIE-SG-019



TABEL PENULANGAN BALOK

TIPE BALOK	BALOK DERMAGA (B1)		BALOK DERMAGA (B2)		BALOK DERMAGA (B3)	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR						
	800x1200		600x1200		600x1200	
	MELINTANG		MELINTANG		MEMANJANG	
	18 D32	5 D32	18 D25	6 D25	12 D25	8 D25
	2x4 D19	2x4 D19	2x3 D19	2x3 D19	2x3 D19	2x3 D19
	5 D32	5 D32	6 D25	10 D25	8 D25	10 D25
Tulangan Sengkang	5 D16 - 150	5 D16 - 300	4 D16 - 150	4 D16 - 300	3 D16 - 150	3 D16 - 300

TIPE BALOK	BALOK DERMAGA (B4)		BALOK LISTPLANK DERMAGA (B5)		BALOK LISTPLANK DERMAGA(B6)	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR						
	600x1000		600x3000		600x3000	
	MEMANJANG		MEMANJANG		MEMANJANG	
	8 D25	6 D25	15 D25	12 D25	10 D25	6 D25
	2x3 D19	2x3 D19	2x8 D19	2x8 D19	2x8 D19	2x8 D19
	6 D25	8 D25	10 D25	10 D25	18 D25	24 D25
Tulangan Sengkang	3 D16 - 150	3 D16 - 300	3 D16 - 200	3 D16 - 250	3 D16 - 200	3 D16 - 300

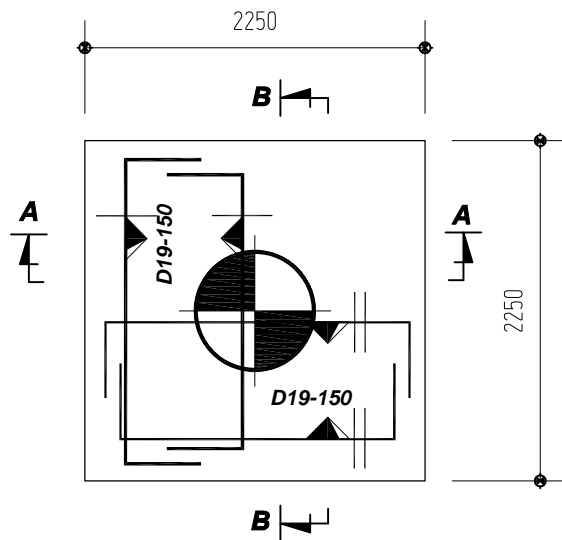


DETAIL PENULANGAN BALOK  
Skala 1:5

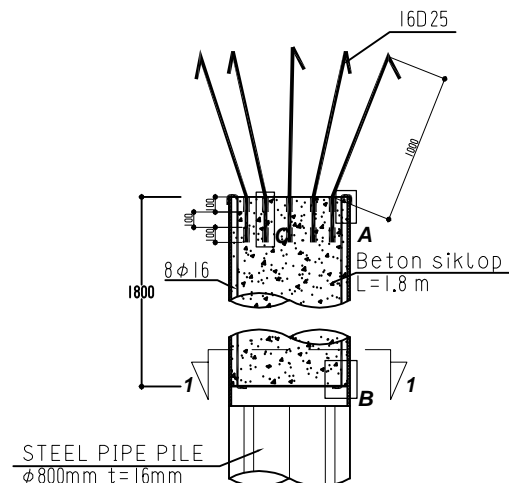
NOTE

DRAWING NO		TITLE			
REFERENCE DRAWING					
△					
△					
△					
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D	CHK'D	APP'D
REVISIONS					
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk JAWA TIMUR INDONESIA					
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL DIVISI RANCANG BANGUN					
CONSULTANT :					
DATE					
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO LMT	Ir. CHOMAEDHI, CES	
SIGN					
DESCRIP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED	
PROJECT : PERANCANGAN DERMAGA PIDIE ACEH					
TITLE : TABEL PENULANGAN BALOK					
DESCRIP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE
DRAWN			MECH & PRO		
DESIGN			CIV & ARCH		
CHK'D			ELTR & INST		
APP'D			SAFETY		
DWG No.			SHEET		REV.
DWG-PIDIE-SG-009			OF		2

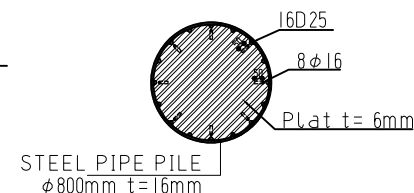




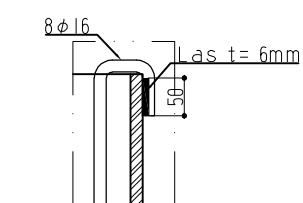
**DENAH PENULANGAN PILECAP 1 (PC1)**  
Skala 1:50



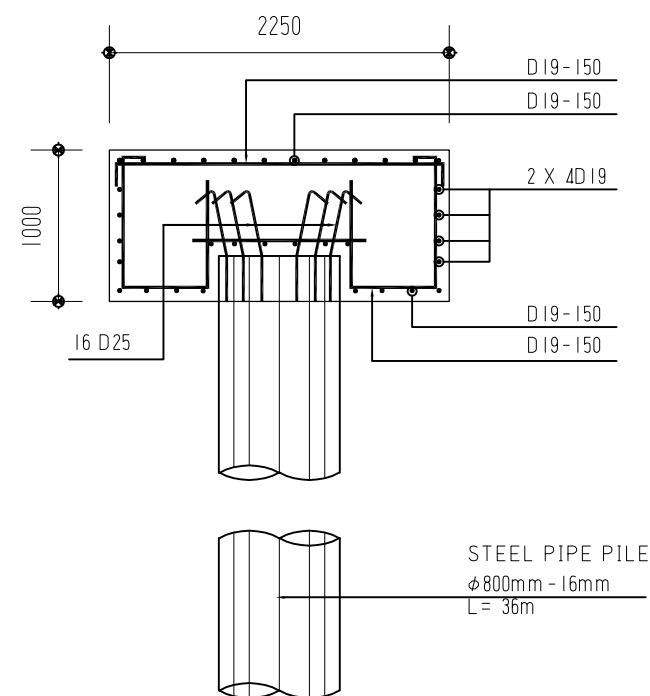
**DETAIL SPP Ø800mm**  
Skala 1:50



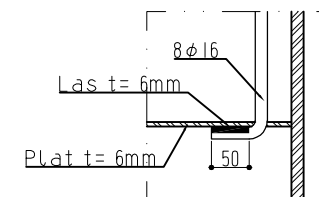
**POTONGAN 1-1**  
Skala 1:50



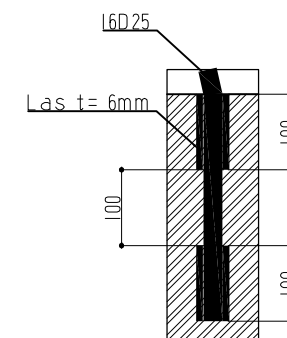
**DETAIL A**  
Skala 1:5



**PILECAP PC1**  
Skala 1:50








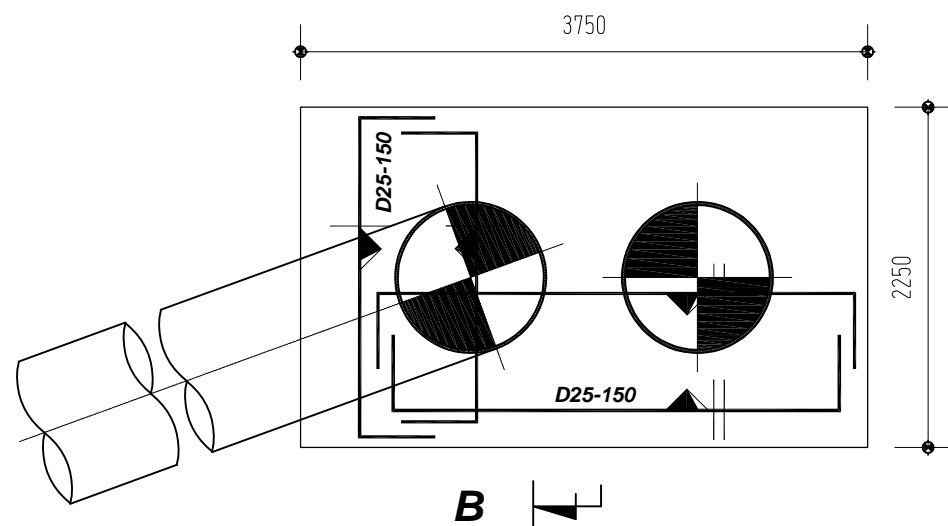
**DETAIL B**  
Skala 1:5



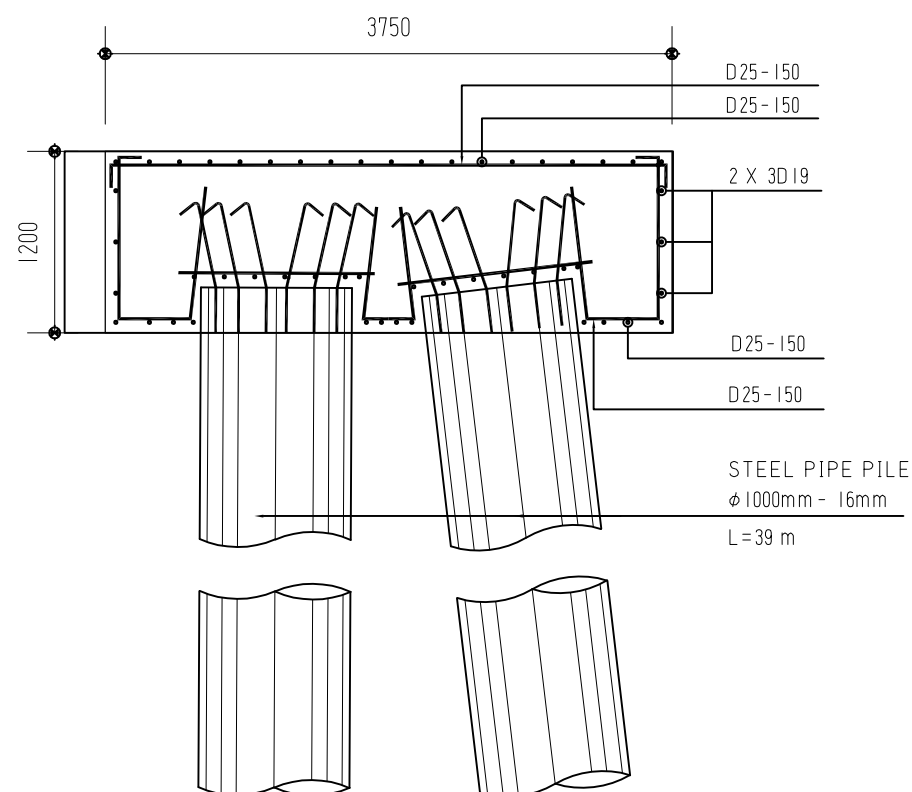
**DETAIL C**  
Skala 1:5

## NOTE

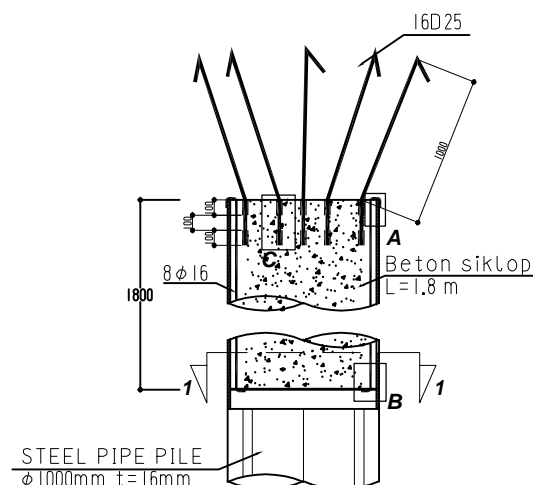
DRAWING NO		TITLE				
REFERENCE DRAWING						
△						
△						
△						
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D    CHK'D    APP'D			
REVISIONS						
<div></div> <div>PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk</div> <div>JAWA TIMUR</div> <div>INDONESIA</div>						
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL						
DIVISI RANCANG BANGUN						
CONSULTANT :						
DATE						
NAME	AINUL ST	Ir. IBNU P. MT	Ir. DJOKO L. MT      Ir. CHOMAEDHI. CES			
SIGN			 			
DESCRP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED      APPROVED			
PROJECT : <div>PERANCANGAN DERMAGA PIDIE</div> <div>ACEH</div>						
TITLE : <div>DENAH PENULNGAN PILECAP 1 (PC1)</div>						
DESCRP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SCALE :
DRAWN			MECH & PRO			1:50
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE
CHK'D			ELTR & INST			A-3
APP'D			SAFETY			
			ENG. MGR			
DWG No.				SHEET		REV.
DWG-PIDIE-SG-015				OF		<div>2</div>



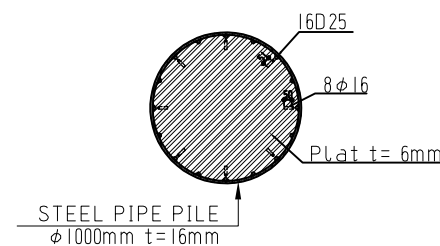
**DENAH PENULANGAN PILECAP 2 (PC2)**  
Skala 1:50



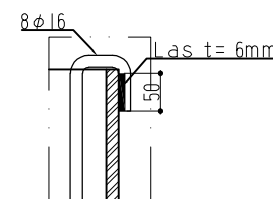
**PILECAP PC2**  
Skala 1:50



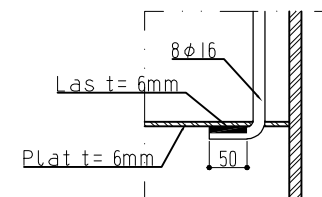
**DETAIL SPP Ø1000mm**  
Skala 1:50



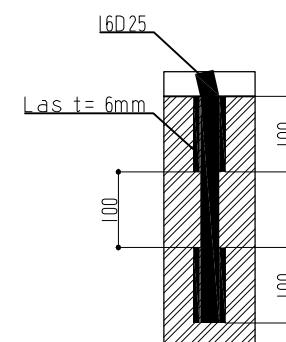
**POTONGAN 1-1**  
Skala 1:50



**DETAIL A**  
Skala 1:5



**DETAIL B**  
Skala 1:5



**DETAIL C**  
Skala 1:5

## NOTE

DRAWING NO		TITLE					
REFERENCE DRAWING							
△							
△							
△							
NO	DATE	DESCRIPTION	PRP'D   CHK'D   APP'D				
REVISIONS							
PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk							
JAWA TIMUR							
INDONESIA							
DIREKTORAT LITBANG DAN OPERASIONAL							
DIVISI RANCANG BANGUN							
CONSULTANT :							
DATE							
NAME	AINUL,ST	Ir.IBNU P,MT	Ir.DJOKO I,MT	Ir.CHOMAEDHI,CES			
SIGN							
DESCRP.	DRAWN	DESIGN	CHECKED	APPROVED			
PROJECT :							
PERANCANGAN DERMAGA PIDIE							
ACEH							
TITLE :							
DENAH PENULANGAN PILECAP 2							
DESCRP.	SIGN	DATE	COORD.	SIGN	DATE	SHEET	REV.
DRAWN			MECH & PRO			1:50	
DESIGN			CIV & ARCH			SIZE	
CHK'D			ELTR & INST			A-3	
APP'D			SAFETY				
			ENG. MGR				
DWG No.						SHEET	REV.
DWG-PIDIE-SG-016						OF	2